



**ВЕК ГЕНЕТИКИ И ВЕК БИОТЕХНОЛОГИИ
НА ПУТИ К РЕДАКТИРОВАНИЮ
ГЕНОМА ЧЕЛОВЕКА**

**В.И. ГЛАЗКО
В.Ф. ЧЕШКО,
Л.В. ИВАНИЦКАЯ
В.Ф. СТОРЧЕВОЙ**



МОНОГРАФИЯ

To the Leaders of Greenpeace, the United Nations and Governments around the world

29 июня 2016 г. «Вашингтон Пост» опубликовала статью о том, что 110 лауреатов Нобелевской премии написали письмо в организацию «Гринпис», ООН и правительствам всего мира с рекомендацией пересмотреть отношение к ГМ-сортам растений и их использованию (Washington Post. More than 100 Nobel Laureates take on Greenpeace over GMO stance). В этом письме говорится следующее.

Сельскохозяйственная программа ООН по продовольствию отмечает, что мировое производство продуктов питания, кормов и волокон должно приблизительно удвоиться к 2050 г. для удовлетворения потребностей растущего населения. Организации, выступающие против методов современной селекции с лидирующей «Гринпис», неоднократно отрицали эти факты и активно выступают против биотехнологических инноваций в сельском хозяйстве. Они искажают риски, выгоды и последствия, а также поддерживают преступные посягательства на утвержденные полевые испытания и исследовательские проекты.

Мы призываем «Гринпис» и его сторонников пересмотреть опыт фермеров и потребителей во всем мире, работающих с культурами и продуктами, улучшенными с помощью биотехнологий, признать результаты авторитетных научных и контролирующих органов и отказаться от своей кампании против ГМО в целом и «золотого риса» в частности.

Научные и регулирующие органы всего мира неоднократно и последовательно доказывали, что культуры и продукты, улучшенные с использованием биотехнологий, столь же безопасны, если не безопаснее, чем те, которые получены любым другим методом производства. Не было ни одного подтвержденного случая отрицательного влияния на здоровье человека или животных от их потребления. Неоднократно показано, что их воздействие на окружающую среду менее опасно по сравнению с исходными методами выращивания культур и является благом для сохранения глобального биоразнообразия.

По оценкам ВОЗ, 250 млн человек страдают от дефицита витамина А, в том числе 40% детей в возрасте до пяти лет в развивающихся странах. Основываясь на статистике ЮНИСЕФ, в общей сложности от одного до двух миллионов смертей, которые можно было бы предотвратить, ежегодно происходит вследствие дефицита витамина А, потому что это ставит под угрозу иммунную систему, прежде всего у детей. Сам дефицит витамина А является ведущей причиной детской слепоты во всем мире, затрагивающей 250 000–500 000 детей каждый год. Половина из них умирает в течение 12 месяцев после потери зрения.

«Гринпис» возглавил оппозицию, выступающую против «золотого риса», который имеет высокий потенциал для уменьшения или даже устранения смертей и заболеваний, вызываемых дефицитом витамина А, который оказывает наибольшее влияние на бедных людей в Африке и Юго-Восточной Азии.

МЫ ПРИЗЫВАЕМ «ГРИНПИС» ПРЕКРАТИТЬ и воздерживаться от кампании против «золотого риса» и культур и продуктов, улучшенных с помощью биотехнологий в целом!

МЫ ПРИЗЫВАЕМ ПРАВИТЕЛЬСТВА ВСЕХ СТРАН МИРА отказаться от участия в кампании «Гринпис» против «золотого риса» и культур и продуктов, улучшенных с помощью биотехнологий в целом, и сделать все, что в их силах, чтобы противостоять действиям «Гринпис» и ускорить доступ аграриев ко всем инструментам современной биологии, особенно к семенам, улучшенным с помощью биотехнологий. Противостояния, основанные на эмоциях и догмах, опровергаемых прямыми экспериментальными данными, должны быть прекращены!



**В.И. ГЛАЗКО, В.Ф. ЧЕШКО,
Л.В. ИВАНИЦКАЯ, В.Ф. СТОРЧЕВОЙ**

**ВЕК ГЕНЕТИКИ
И ВЕК БИОТЕХНОЛОГИИ
НА ПУТИ
К РЕДАКТИРОВАНИЮ
ГЕНОМА ЧЕЛОВЕКА**

МОНОГРАФИЯ

Москва
КУРС
2016

УДК 575(075.4)

ББК 28.04

Г52

Ф3 Издание не подлежит маркировке
№ 436-Ф3 в соответствии с п. 1 ч. 4 ст. 11

Рецензенты:

М.С. Соколов, академик, профессор, д-р биол. наук;

В.А. Бондаренко, профессор, д-р биол. наук

Глазко В.И., Чешко В.Ф., Иваницкая Л.В., Сторчевой В.Ф.

Г52 Век генетики и век биотехнологии на пути к редактированию генома человека: Монография. — М.: КУРС, 2016. — 560 с. — (Серия «Наука»).

ISBN 978-5-906818-06-5 (КУРС)

ISBN 978-5-16-103624-2 (ИНФРА-М, online)

В монографии рассматриваются некоторые этапы развития генетики, биотехнологий с точки зрения базовой стратегии человечества на пути формирования современной аграрной цивилизации. Аграрная цивилизация рассматривается как часть биосферы и основной пользователь ее энергетических потоков. Последовательно излагаются этапы создания и использования инструментов управления живыми объектами с целью продовольственного обеспечения растущей численности человечества. Рассматриваются элементы биосферной деградации, созданные в результате человеческой деятельности, и пути их компенсации. Обсуждается важность кооперации представителей разных областей знаний в разработке новых подходов к управлению генетическими ресурсами планеты. В монографии рассматриваются лишь некоторые области знаний об устройстве аграрной цивилизации, которые могут оказаться важными для понимания путей ее развития.

Монография имеет простую структуру, состоит из глав под условными названиями, отражающими их основное содержание. Рассчитана на читателя, заинтересованного в информации о тех стратегиях, которые создавало и выбирало человечество для своего распространения и выживания в новых условиях, созданных его же деятельностью, основанных на накоплении знаний о генетике и создании новых биотехнологий. Рекомендуются для студентов и преподавателей высших учебных заведений сельскохозяйственных и биологических направлений.

УДК 575(075.4)

ББК 28.04

Электронно-
Библиотечная

znaniyum.com

ISBN 978-5-906818-06-5 (КУРС)

ISBN 978-5-16-103624-2 (ИНФРА-М, online)

© Глазко В.И., Чешко В.Ф.,

Иваницкая Л.В., Сторчевой В.Ф.,
2016

© КУРС, 2016

ПРЕДИСЛОВИЕ

И сказал Господь Бог: вот, Адам стал как один из Нас, зная добро и зло; и теперь как бы не простер он руки своей, и не взял также от дерева жизни, и не вкусил, и не стал жить вечно.

Бытие, 3: 22

Когда мы овладеем всеми этими шарами Вселенной, и всеми их уютами, и всеми их знаниями, будет ли с нас довольно?.. Нет, мы пойдем мимо и дальше.

Уолт Уитмен

Совершенно ошибочен взгляд прагматизма, что истина есть полезное для жизни. Истина может быть вредна для устройства обыденной жизни.

Николай Бердяев

Со времени начала века генетики (вторичного открытия законов Менделя) наши представления о том, что есть Добро и Зло, Благо и Долг, само мировосприятие современного человека изменились самым радикальным образом. Как было раньше хорошо в эпоху разумного замысла. Достаточно просто пытались объяснить необыкновенное разнообразие жизни на Земле. Все сводилось к сверхъестественному: жизнь во всем ее разнообразии сотворена Богом, и все мы есть часть глобального плана Создателя. Но мы живем в эпоху эволюционных и революционных перемен в представлениях о природе человека. По мнению многих, эволюционная история *Homo sapiens* приблизилась к моменту, который предсказывали разные мыслители — философы и естествоиспытатели: верующие и атеисты, теоретики и практики и т.д. (Федоров, Вернадский, Хаксли, Де Шарден и многие другие).

После выяснения биологической роли нуклеиновых кислот, открытия структуры молекулы ДНК, расшифровки генетического кода эти трансформации многократно ускорились, расширились по масштабам и углубились. Они вышли за пределы собственно естествознания, интегрировались в ментальность, стали, наконец, одним из доминирующих факторов современной экономики. Пришло понимание, что образование новых сочетаний генов и их частей в природных условиях проходит проверку естественным отбором. Только он может оценить жизненную значимость таких преобразований геномов. Человечество приступило к исследова-

ниям генетических явлений на молекулярном уровне. Произошло рождение нового направления в биологии — ДНК-технологий; с этого момента начинается новый этап эволюции биосферы Земли — ноосферы в понимании В.И. Вернадского, и в настоящее время мы, к сожалению, не в состоянии все предвидеть и предположить.

Современные генные и геномные технологии, наряду с компьютерной техникой и информатикой, с полным правом можно объединить в категорию информационных технологий. Их влияние на будущее цивилизации совпадает, и XXI в. в равной мере можно назвать веком био-, нанотехнологий и компьютерной эрой. На смену декартовскому «человек — машина» пришла иная метафора, иная когнитивная модель — «человек — программа».

К тому же оказывается, что оба этих афоризма способны объединиться в целостную идеологическую и методологическую концепцию, вплоть до генетической дискриминации человека. Может показаться, что это утверждение сформулировано излишне жестко. Но прочтем последние научные публикации (редактирование генома, геномная дискриминация), в том числе и военных медиков, посвященные проблемам отбора и профориентации в тех массовых профессиях, которые предъявляют повышенные требования к работающим. «Человек является информационной машиной. Зарождающиеся и уже существующие качественно новые информационные и энергетические связи делают современное общество, в том числе и производство, как бы единым организмом... Следовательно, механизмы регуляции различных его функций, часто основанные на этических правилах, должны иметь природу, присущую целостному организму. На основе этого механизма нужно разрабатывать комплекс правил, регулирующих поведение указанной системы» [Кальниш, Ена, 2004]. После того как наш вид научился сложному мышлению, возникли вопросы — «кто мы?, зачем мы? откуда мы? почему ведем себя так, а не иначе? почему мы так похожи и так отличаемся друг от друга.?». Многие науки и религия пытались ответить на эти вопросы, но недостаточно.

Итак, «*информационное общество*», «*век генетики, био- и нанотехнологии*» и «*общество риска*» выступают в массовом сознании третьего тысячелетия как синонимы.

В последние годы становится все более очевидным, что современная наука является двигателем роста, развития и стабильности любого государства. Использование новых методов науки, в частности генно-инженерных, — ДНК-технологии, которые позволяют исследовать и направленно изменять материал наследственности на разных уровнях его организации — геном, хромосомном, геномном, популяционно-генетическом, биогенетическом. Самое главное, что произошла переориентация вектора активности с научного объяснения окружающего мира на само научное

познание, что привело к расслоению последнего на рискованную (классическую) и предупреждающую науку.

Принципиально, что все методы ДНК-технологий, связанные с созданием новых генных конструкций и новых организмов, основаны на искусственной модификации и трансформации процессов, реально существующих в живой природе. Исследователи не придумывают, по сути, ничего нового — они обучаются использованию приемов, многократно реализованных в процессе эволюции живых организмов и лежащих в основе «трех китов» филогенеза: изменчивости, наследственности и отбора. Таким образом, начало XXI в. является действительно переломным моментом всего развития биосферы (ноосферы по Вернадскому), переходом к активному вмешательству человека в совокупность материала наследственности биосферы, созданию новых вариантов с использованием приемов, стихийно наработанных в процессе эволюции за миллионы лет до появления человека.

В связи с очевидной практической значимостью этого направления на Западе образован целый ряд коммерческих фирм, задача которых — использование методов ДНК-технологий для создания новых форм животных и растений, несущих новые полезные признаки. Многомиллиардные финансовые вливания этих фирм привели уже в настоящее время к революционным изменениям в целом ряде традиционных теоретических и прикладных направлений биологии, медицины, сельского хозяйства и многих других областей. По-видимому, в современной биологии во всем диапазоне ее областей — от физиологии клетки до механизмов высшей нервной деятельности — не осталось ни одной, в которой бы не нашли своего применения ДНК-технологии, биоинформатика, протеомика, метаболомика. Фактически созданы предпосылки для качественных перемен в целом в жизни человечества. Разработка ДНК-технологий во многом определила справедливость прогноза о том, что в XXI столетии решающую роль в развитии и существовании мирового сообщества будут играть генетика и биотехнология.

Вся генетическая, а теперь и геномная инженерия создавалась и держится на копировании и в заимствовании естественных природных механизмов генетической и геномной изменчивости, существующих в природе. Это относится не только собственно к генной инженерии, но и к появившимся в последнее десятилетие новым поколениям методов, получивших название «геномное редактирование». По своей сути это методы осуществления давней мечты — адресованного мутагенеза.

Методы генной инженерии всегда имели две основные проблемы не точности операций с генами: это трудности контроля места интеграции чужеродной конструкции в геноме-мишени и количества встроенных копий и влияние чужеродного белка на метаболом генома хозяина. И если

методы увеличения адресности и копийности встройки развивались с достаточно трудоемким использованием системы *Cre — Lox*, в частности бактериофагов, где введенные сайты *Lox* в геном хозяина путем использования гомологичных рекомбинаций с участием нуклеотидных последовательностей, комплементарных участкам генома-хозяина, служили адресом рекомбинации, а *Cre* — ферментом рекомбинации, то преодоление опасности влияния продуктов чужеродного гена на общий метаболизм до сих пор оставалось недостаточно исследованным. Методы геномного редактирования оказали принципиальное влияние на решение обеих проблем. История развития этих методов и их применения достаточно подробно изложена в разных работах С.М. Закияна и соавторов (2014).

Использование известных механизмов опознавания белками — факторами регуляции транскрипции нуклеотидных последовательностей, посадка на которые приводит к изменению транскрипционной активности соответствующей последовательности, привело к разработке искусственных химерных белков, состоящих из доменов, связывающих определенные нуклеотиды, и доменов, обладающих нуклеазной активностью. Основой для этих разработок стали исследования активатора транскрипции бактерий рода *Xanthomonas*, у которых белки *TALE* (*Transcription Activator-Like Effectors*) активируют экспрессию собственных генов. Белки *TALE* содержат центральный домен, состоящий из мономеров, каждый из которых связывается с определенным нуклеотидом, фрагмента, ответственного за транспорт в ядро и домена, собственно активирующего транскрипцию. Каждый из мономеров центрального домена содержит 34 аминокислотных остатка, два из них, отвечающие за опознавание определенных нуклеотидов в мишени-посадке *TALE*, локализованы в позициях 12 и 13, характеризуются высокой изменчивостью и обозначаются как *RVD* (*Repeat Variable Di-residue*). Эти исследования позволили создавать искусственную конструкцию, в которой к последовательности, кодирующей соответствующий адрес в геноме хозяина — *TALE*, присоединяли к ее флангам нуклеазные домены FokI, встраивали в транскрибируемую в цитоплазме клеток хозяина плазмиду и получали химерную нуклеазу, индуцирующую двуцепочечные разрывы в совершенно определенном месте генома хозяина. Такие химерные нуклеазы получили название «*TALEN*». Теперь уже появились компании, в которых можно заказывать наборы, необходимые для приобретения соответствующих «китов» для создания таких химерных нуклеаз и транскрибирующихся конструкций (Ma Alvin C., et al., 2016, <http://www.genecorpeia.com/>; <http://www.origene.com/>).

Другой инструмент редактирования генома, основанный на иммунной системе бактерий, способной встраивать в собственный геном фрагменты геномов бактериофагов, транскрипт которого подавляет патогенность

агрессора, получил название *CRISPR/Cas* — *Clustered Regulatory Interspaced Short Palindromic Repeats* (кластеры коротких палиндромных повторов) и *Cas* — семейство эндонуклеаз. Эти палиндромы разделены спейсерами, которые, по сути, представляют участки встраивания фрагментов ДНК соответствующих патогенов, которые в геномах патогенов получили название протоспейсеров. В геноме патогена этот фрагмент присутствует в качестве протоспейсера, который включает последовательность собственно будущего спейсера и флангов, состоящих из коротких (в 2–5 п.н.) консервативных последовательностей, получивших название *PAM* (*Protospacer Adjacent Motif* — мотив, прилегающий к протоспейсеру). После встройки вся эта последовательность транскрибируется, процессируется с участием эндогенных нуклеаз и интерферирует с генетическим материалом патогена, в разрушении которого принимают участие также эндонуклеазы. Из патогена *Streptococcus pyogenes* выделен полифункциональный белок *Cas9*, участвующий и в процессинге такого транскрипта, получившего название «длинный транскрипт» — предшественник (*pre-crRNA*), который процессируется в зрелые *crRNA* длиной в 40–50 пар нуклеотидов, а также участвует в разрушении чужеродного генетического материала. Процессинг *crRNA* зависит также от малой некодирующей РНК — *tracrRNA* (*trans-activating crRNA*). Молекулы *tracrRNA* комплементарно связываются с последовательностями повторов в *pre-crRNA*, РНКаза III хозяина в присутствии *Cas9* разрезает дуплекс с образованием зрелой *crRNA*. Для того чтобы вся конструкция приобретала точность адресовки к нужной последовательности в геноме модифицируемого хозяина, в нее далее встраивают соответствующую ей комплементарную нуклеотидную последовательность, получая «направляющий» элемент конструкции (*guide RNA* — *gRNA*), позволяющий адресно модифицировать район генома хозяина.

За несколько последних лет эти два метода геномного редактирования, *TALEN* и *CRISPR/Cas9*, получили широкое распространение; количество публикаций, в которых рассматриваются приемы их усовершенствования и использования, превышает три тысячи в базе данных PubMed, и области их применения постоянно расширяются. Особое значение в генной инженерии эти методы приобретают еще и в связи с тем, что они позволяют не менять структурные гены, а целенаправленно влиять на регуляторные механизмы их экспрессии. Так, например, отпадает необходимость вводить структурный ген в конструкцию, направленную на защиту растений от насекомых, продукт которого взаимодействует с рецептором ювенильного гормона и блокирует развитие личинки патогена. Вместо этого можно ввести в геном растения соответствующую микроРНК, подавляющую экспрессию этого рецептора, и получить тот же эффект без присутствия в растении чужеродного белка. Или использовать

в конструкции *CRISPR/Cas9* мутантную эндонуклеазу *Cas9*, лишенную нуклеазной активности, которая, благодаря направляющей РНК, локализуется в промоторном участке гена, кодирующего такой рецептор, и блокирует его транскрипцию. В настоящее время даже трудно представить появившиеся возможности, благодаря этим двум методам, создания и контроля генетической изменчивости у живых объектов, включая человека.

Эти достижения геномного редактирования, наряду с успехами нанотехнологий и биоинформатики, позволят вплотную подойти к формированию ноосферы, обеспечивающей удовлетворение возрастающих потребностей человечества при сохранении окружающей среды. Важно подчеркнуть, что имеющаяся зависимость государственности от характера взаимодействия человека с природой постулирует связь между экологическими проблемами и социальной системой. Его разрешение приведет к изменению социально-государственной организации общества. Этот процесс, к сожалению, стихийный и опосредован многими звеньями социальной эволюции. Отношение человека к природе рассматривалось В.И. Вернадским в качестве формы проявления самой природы. Для обозначения природы, формой самодвижения которой является отношение к ней человека, В.И. Вернадский ввел понятие «космос натуралиста». Проблема в том, чтобы научиться переходить от описаний мира как объекта к описаниям мира как места, которое формирует и само формируется под влиянием человека. Согласно В.И. Вернадскому, разрешение этой проблемы означает формирование единой науки. Иного пути нет, иначе — предсказываемый многими конец эволюционной истории человека и его трансформация в нечто совершенно другое благодаря геномному редактированию, в результате которого наши внуки будут смотреть на нас так, как мы сами смотрели на динозавров «Парка Юрского периода». Это не предмет теоретических философских изысканий, эта эпоха трансгуманизма, т.е. рационализации процесса эволюции экосистем различного уровня сложности, включающих человека и вопрос практической биополитики.

В исторической перспективе успехи или неудачи государств в конечном итоге связаны с продовольственным обеспечением населения. Особое значение это имеет для России и всего постсоветского геополитического пространства, богатого генетическими ресурсами культурных растений. Это богатство обусловлено огромной территорией и разнообразием эколого-географических условий ресурсного воспроизводства. Именно поэтому решение таких вопросов, как возможность обеспечения качественной и безопасной пищей своего населения, уменьшение скоростей сокращения собственных растительных и других биологических ресурсов, вносит существенный вклад в решение глобальных проблем сохранения

биосферы и качества «среды обитания» для себя и будущих поколений. От этого зависит не только благосостояние нашей страны, но в итоге и выживание всего человечества.

Комплекс НАУКА–ТЕХНОЛОГИЯ–ОБЩЕСТВО стал в современной цивилизации стержневым элементом глобальной эволюционирующей системы планеты Земля, определяющим направление ее эволюции и выживания человечества в той экологической системе, которая им же создана. Но эта система служит одновременно и источником социального и гуманитарного риска, принимающего все более характер риска эволюционного. Одним из наиболее четких примеров стала проблема снижения генетического разнообразия как следствие успехов научной селекции и имплементации ее достижений в сельское хозяйство.

Еще в 1920-е гг. выдающимся генетиком Николаем Вавиловым была сформулирована задача сохранения генетического разнообразия. Под его руководством осуществлены первые экспедиции по сбору, изучению локальных форм растений и создана уникальная коллекция семян культурных и диких представителей флоры, собранная из различных районов мира. Многие современные сорта пшеницы, ржи, других сельскохозяйственных культур обязаны своим появлением на свет именно вавиловской коллекции. А кто сегодня может предсказать, сколько новых сортов благодаря этому наследию появится в будущем?

Непонимание и пренебрежение к процессам сужения генетического разнообразия очень хорошо осознаны на двух примерах: как большие потери урожая кукурузы из-за *Helminthosporium maydis* (*раса Т*) в США и вымерзание пшеницы в Советском Союзе. Все возделываемые тогда в США высокоурожайные сорта кукурузы были гибридными, созданы с использованием технологии цитоплазматической мужской стерильности и содержали одинаковую стерильную цитоплазму. Причем было известно, что данная цитоплазма обладает высокой восприимчивостью к *этой расе*. Эта болезнь впервые была отмечена в 1961 г. на Филиппинах, через несколько лет появилась в Мексике, и в 1968 г. ее в первый раз отметили на юге США. Ситуация понятна — продолжающийся на общей площади рост восприимчивых сортов кукурузы приведет к неминуемой катастрофе. В 1970 г. погибло 15% урожая кукурузы, а в некоторых южных штатах потери составляли более 50% и имели катастрофические последствия для фермеров и их хозяйств.

Аналогичная ситуация сложилась в начале 1970-х гг. и Советском Союзе. Согласно традициям того времени (1930–1980-е гг.) большую часть площади занимал один, действительно очень удачный сорт — Безостая 1, который отличался хорошими хлебопекарными качествами и высокими урожаями. Но было также известно, что его зимостойкость в суровые зимы недостаточна. Тем не менее, несмотря на это знание, в Украине этот

сорт преобладал. В результате в основной на то время житнице страны суровой зимой 1971/72 гг. и собрали половину обычного урожая.

И в том, и в другом случае победившие в ходе конкуренции научно-технологические разработки и созданные на их основе хозяйственные инновации «внезапно» привели к фактически эволюционному кризису...

Для того времени и его политических лидеров это было шоком. Почти одновременно два самых мощных государства на своей территории встретились с гигантскими недоборами урожая. Благодаря этому опыту катастрофические последствия сужения биоразнообразия культурных растений, о чем говорил и писал Н.И. Вавилов, были осознаны мировым сообществом. Но за последние полвека ситуация принципиально не изменилась. Сегодня потери в биологическом разнообразии используемых в агропроизводстве видов чрезвычайно высоки. Они являются частным случаем глобального процесса утраты генетического разнообразия в биосфере. Для сельскохозяйственных видов вопросы сохранения генофонда стоят не менее остро, чем для дикой флоры и фауны. Мы еще вернемся к этой проблеме в общем контексте эволюционных и социальных последствий развития генетики, геномики, биотехнологии как элементов стабильной эволюционной стратегии уникального биологического вида — *Homo sapiens*.

Современные методы экспериментального мутагенеза в сочетании с половой гибридизацией позволяют значительно расширить генетическую изменчивость, обогатить генофонд и сократить время на получение ценного исходного материала. Однако внутривидовая рекомбинация генов не может в полной мере обеспечить донорами полезных генов, а межвидовая гибридизация, как правило, ограничена барьером половой несовместимости. Поэтому сегодня основное направление поиска новых генов и их сочетаний развивается в сторону анализа чужеродной, экзогенной ДНК и редактирования геномов. В основном это направление реализуется как фактор адресной передачи признаков от донора к реципиенту по типу генетической трансформации — трансгеноз, генная инженерия, метаболомика, протеомика.

Опасность сужения биоразнообразия культурных растений для мира довольно рано была осознана Н.И. Вавиловым. Он первым в мире поставил для себя и научного сообщества задачу по мобилизации мировых генетических ресурсов для интенсификации сельского хозяйства и предупреждения мирового голода и пришел к выводу о том, что нужно создавать не специальные условия для культурных растений, а новые формы и подбирать их к имеющимся условиям растениеводства. Прямая заслуга Н.И. Вавилова — создание банка мировых растительных ресурсов и множества испытательных станций в СССР. К настоящему времени в мире таких наиболее значимых генетических банков создано более 1700,

но и до сих пор банк Н.И. Вавилова входит в группу наиболее богатых, хотя он и утратил свое лидирующее положение в результате перестройки и развала СССР, а также неадекватности руководства. Многие из генетических банков растительных ресурсов в разных странах носят имя Н.И. Вавилова. Суммарно в них хранятся образцы более 7 млн сортов и видов растений, и мир благодаря этому готов к внезапным ситуациям и неожиданностям. Сохраняются коллекции генетических доноров устойчивости растений к возможному воздействию любых абиотических и биотических стрессоров. При этом особое внимание должно быть обращено на сбережение соответствующих блоков коадаптированных генов к любым условиям. Во многих странах сформированы национальные программы по сохранению местных растений. В этой связи особую актуальность приобретает задача научно обосновать взаимоотношения человека и природы и перевести их в элемент естественного общественного сознания.

Биологическое разнообразие планеты исчезает с угрожающей быстротой. В большинстве случаев это вызвано деятельностью человека, приводящей к фрагментации, разрушению вследствие эксплуатации и загрязнения окружающей среды. Поэтому особое значение приобретает новая область — экобиотехнология, задачами которой являются поиск и изучение факторов, влияющих на экосистемы и контролирующих генетическую изменчивость выживающих видов. Экобиотехнология — долговременное сохранение генетической информации в виде глубокозамороженных половых клеток, эмбрионов животных и растений, позволяющее восстанавливать и планировать их последующее существование в биогеоценозе [Вепринцев, Ротт, 1985, 1991]. Кримоконсервация генов дополняет другие способы сохранения генетической информации, помогая сберечь генетическое разнообразие, уменьшить число животных при разведении, не опасаясь инбридинга, и т.д. Особое значение кримоконсервация приобретает сейчас, когда идет загрязнение нативного генетического материала планеты рекомбинантным генетическим материалом.

Вся история развития сельского хозяйства в мире, и особенно в нашей стране, многократно доказывала пагубность непонимания и подмены широкого научного базиса сиюминутным узким прагматизмом и всякого рода политической, экономической и прочей «целесообразностью». Типичным примером выступает деятельность Лысенко. Его феномен — результат «грамотности» и неадекватности тогдашних политиков, тех, кто не признавал и не относил сельскохозяйственные исследования к фундаментальным. А таких, к сожалению, было много. Проблемы необходимости продовольственного импортозамещения растут именно оттуда. С учетом неизбежной смены приоритетов в ресурсном и продовольственном обеспечении человечества трудно усомниться в праве и обязанности сельскохозяйственных наук занимать главенствующее положение

в системе наук в ближайшей и долговременной перспективе человеческого существования.

Восприятие плюсов («социальное благо») и минусов («социальный риск»), проистекающих из развития современной фундаментальной науки и высоких технологий, четко тяготеет к двум альтернативным полюсам — оптимистическому (сциентистскому) и пессимистическому (гуманистическому). При элементарном анализе обеих точек зрения выясняется, что первая соответствует естественно-научной эпистемологической модели, вторая — социогуманитарной: там, где естествоиспытатель видит технологические *возможности*, гуманитарий обнаруживает социальные *дилеммы*; то, что естествоиспытатель рассматривает как вопрос *техники безопасности*, социолог и философ воспринимают как источник *социального и политического риска*. За всеми этими спорами проглядывает фигура экономиста-практика, бизнесмена, трансформирующего и предмет спора, и попытки его решения, и сам спор в *товар*, способный обеспечить успех на рынке.

Но для постсоветского геополитического пространства эта проблема имеет собственное специфическое значение. Проходящие в мире культурные, экономические и политические трансформации переходного периода повышают восприимчивость любого общества к различным рискогенным факторам. Интеграция нового научного знания в новую ментальность обычно носит характер импорта новых технологий и идей, а следовательно, значительно отстает от темпов культурной и ментальной адаптации непостиндустриального общества, систем этических приоритетов, идеологии, юридической системы и т.п. Поэтому социополитические аспекты развития науки и технологии становятся крайне важными с точки зрения анализа, прогнозирования и управления процессами формирования гражданского общества. Развитие науки и технологий манипулирования сознанием и биосоциальной природой человека могут (и приобретают) значение одного из главных факторов, определяющих исход столкновений политических концепций и результирующий вектор будущего развития постсоветского социума.

Итак, равнодействующая эпистемологических, культурно-психологических и социоэкономических трансформаций, инициированных современной наукой, определит вектор развития разумной жизни во Вселенной (или, по крайней мере, в том единственном ее варианте, который нам известен). Необходим методологический синтез, который позволит интегрировать все эти аспекты (естественно-научный, философско-антропологический и социоэкономический) в целостное мировоззрение.

Предлагаемая книга — попытка трансдисциплинарного исследования проблемы целей, технологий и возможных результатов самоконструирования человеческих существ не только в духовном, но и в сугубо мате-

риальном, физическом смысле. Авторы последовательно рассматривают вначале естественно-научные и *High Tech*-технологические схемы целенаправленной реконструкции генетического, ментально-когнитивного и социокультурного кодов, прежде всего генную инженерию и биотехнологию. Затем переходят к гуманитарной экспертизе результатов такого вмешательства, а значит, и к таким технологическим разработкам, которые относятся уже к классу *High Hume*, модификации индивидуального и группового поведения.

Век геномных технологий ведет к изменению антропогенеза благодаря возможности индивидуальных проектов. Возможно, что это будет означать конец человечества как некой целостности. Поэтому крайне важной для нашей судьбы становится интеграция в жизнь социума биоэтики и биополитологии как социальных институтов, обеспечивающих согласование нашей технологической мощи с сохранением гуманистических идеалов и ценностей.

Задача книги — конечная цель некой интеллектуальной трансмутации, которая, по всей видимости, займет не одно десятилетие. Начало этого пути — сопоставление двух точек зрения на социальную функцию науки, двух философий, двух познавательных моделей.

Настоящая работа посвящена именно этому. В ее основе — два взгляда на опасности и перспективы «научно-технологического прогресса», лидером которого, определяющим лицо современной цивилизации, сейчас являются, безусловно, информационные и биологические (точнее, генетические) технологии.

Основные идеи, изложенные авторами в статьях, положенных в основу книги, выдержали испытание временем, вполне согласуются с современными парадигмами генетики, биотехнологии, теоретической антропологии и биоэтики и при этом обрели не только философскую значимость, но логическую и дисциплинарную строгость научной гипотезы, которая способна стать теорией. Основная идея книги предопределила ее структуру: она принципиально дуалистична, построена как прямое столкновение двух когнитивных моделей, двух идеологий, между ее частями возможны (и, безусловно, имеются) логические противоречия, не исключены повторы. Книга — не «завершенное научное исследование», это размышления и факты, исходный материал для дискуссии и синтеза в XXI в. Между двумя ее частями лежит не истина, а проблема. Но в споре, как известно со времен Сократа, рождается истина.

Часть I

ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЯЕМОЙ ЭВОЛЮЦИИ — СТРАТЕГИЯ ВЫЖИВАНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ГЕНЕТИКИ И БИОТЕХНОЛОГИИ

*«История есть не что иное,
как непрерывное изменение человеческой природы».*

Карл Маркс

ВВЕДЕНИЕ

Наука и технология в истории человечества

Современная наука — продукт европейской культуры. Ее появлению человечество обязано трудам великих ученых — от Коперника до Галилея и Ньютона. Но водоразделом в науке стала публикация в 1686 г. «Математических начал натуральной философии» Исаака Ньютона — изложение его системы классической механики. Ньютон создал научную дисциплину, в течение двух последующих столетий служившую эталоном классической науки Нового времени. Наука стала не только системой знания, но и сферой постоянной и весьма сложной творческой познавательной деятельности по его получению. Науки в этом качестве в прежние эпохи не существовало. В результате современное научное знание обладает как бы «двойной моралью». Во-первых, оно ценно само по себе. К науке обращаются, чтобы понять и объяснить. Во-вторых, ценность научного знания определяется его полезностью для человеческой деятельности. В зависимости от того, какой компонент преобладает, можно даже пред-

сказывать судьбу государства. В качестве примера можно привести лысенковизм в СССР или развитие евгеники в нацистской Германии.

Незадолго до Второй мировой войны физики открыли принципиально новое явление — цепную реакцию, когда при распаде атомов выделялось энергии больше, чем затрачивалось на то, чтобы вызвать эту реакцию. Это открытие означало, что появилась реальная возможность создания атомной бомбы, несопоставимой по силе взрыва со всем, что человечество в этом плане имело ранее. И буквально через несколько лет начались работы, завершившиеся разработкой технологии ее производства. То есть достижения фундаментальной науки в XX в. впервые сразу же стали рассматриваться с точки зрения возможностей их мгновенного военного и практического использования [Глазко, Чешко. 2007]. Точно так же, как через 46 лет использование реакции ПЦР (полимеразная цепная реакция). Отсюда, особенно после бомбардировки Хиросимы и Нагасаки, начинается отсчет возникновения и появления феномена «опасного знания». Он существует, как существуют причины, его породившие.

Современные ситуации, этические дилеммы, конфликты и социальные риски, являющиеся следствием этого феномена. Они отражают и другой термин *биовласть* — способность властных структур нормировать и регулировать состояние социума. Носителем биовласти в данном случае выступают законодательные и исполнительные структуры. Они устанавливают определенные нормы и контролируют их соблюдение. Неявными обладателями биовласти оказываются эксперты, владеющие научными знаниями. Только на их заключения опираются правительства, судьи и т.д. В реальности наука в техногенной цивилизации играет роль скрытого или очевидного механизма принятия политических решений. В частности, отсюда идет разочарование в науке и в научном прогрессе, который ранее рассматривался как единственный способ решения всех проблем человечества, начиная от социальных и до экологических кризисов. При этом доминирующая черта — распространение в массовом сознании крайне фрагментарных элементов научных знаний, что усугубляется тем, что в современном обществе оно не подкреплено систематическим образованием [Глазко, Чешко. 2007]. Два события XX в. — переоткрытие законов Менделя и создание хромосомной теории, а спустя полвека — создание модели ДНК и расшифровка генетического кода радикальным образом преобразовали наши представления и об эволюции Вселенной, и о нашей собственной природе, в корне изменили структуру самой науки, ее социальный статус и в конечном счете привели нас на порог модного термина — «постчеловеческого будущего».

На первый взгляд, это парадокс, что на рубеже II и III тысячелетий н.э. резко вырос риск техногенного и биогенного уничтожения цивилизации. И это при том, что угроза голода в развитых странах ликвидирована. Про-

должительность жизни за последние 100 лет увеличилась в несколько раз. Резко снизилась величина детской смертности. Эпидемии чумы, холеры и других инфекционных болезней, в эпоху Средневековья опустошавших страны Европы, практически ликвидированы. Современные инфекции — «птичий грипп», «атипичная пневмония», «болезнь легионеров» и прочие несопоставимы с ними по наносимому ущербу, во всяком случае, современная медицина располагает значительно более мощным и хорошо апробированным арсеналом профилактики и лечения инфекций по сравнению с временами Антони Ван Левенгука и Луи Пастера [Глазко, Чешко. 2007]. Даже единственное исключение — синдром приобретенного иммунодефицита — существенно не повлияло на продолжительность жизни (в США), которая стала при принятии лекарств не меньшей, чем при наличии диабета, высокого давления и многих других хронических заболеваний.

Страна, принимая презумпцию истинности и полезности научного открытия, заданную её окружением, теряет плюсы индивидуального мышления и должна понимать, что перестает быть самостоятельной. Сменить убеждение она может, как и каждый человек, только если готова его сменить. Только тогда доводы полезны. Иначе будет проводиться лишь поиск контрдоводов. А обычный ученый (т.е. работающий в «нормальной» науке) бывает готов к смене только вместе с обществом. Получается порочный круг, выход из которого производится всем обществом лавинообразно и с большим опозданием, причем не по осознанию причин, а под влиянием повода.

К середине XX века общества убедились: для ученых никакой факт не имеет значения, если нет объясняющей его идеологии или схемы. Сделано это было в основном на материале быстро развивающейся физики, а у биологов и даже многих философов науки до сих пор еще обычно убеждение, что науку движут именно факты. В качестве примера приводят дарвинизм. Он победил в силу его соответствия фактам — морфологическим, археологическим, генетическим и многим другим. Хотя основное понятие — естественный отбор — не имело, как признавал сам Дарвин, фактической базы и не имеет его до сих пор. Противоположный пример — работы Г. Менделя, когда до начала экспериментов была предложена гипотеза о наличии дискретных элементарных факторов материала наследственности, продумана четкая система доказательств, начиная с идеи и кончая логикой или схемой эксперимента.

Вторая мировая война интенсифицировала процессы милитаризации социума и науки, прямым следствием чего стали такие крупнейшие и имеющие не только военное значение технологии, как атомная энергетика, радиолокация, ракеты и выход человека в космос. Третья мировая война, получившая название «холодной», дала новые направления технологическим разработкам и инновациям. Они были настолько неожиданны для

общества, что в 60-е и первой половине 70-х гг. XX в. получили название третьей и четвертой *научно-технической революции* (НТР). К сожалению, СССР из-за бюрократизации страны и правительства, которые сделали ставки на покупку западных технологий и достижений, в результате резко затормозили развитие своей науки. Чего в этом больше — глупости или злого умысла, судить не нам, а потомкам. СССР не смог в полной мере освоить достижения НТР, отстал он и в развитии информационных, био- и нанотехнологий. Все остановилось, как обычно, на уровне решения партии и правительства, на уровне политических деклараций о значении НТР и о реальных преимуществах социализма. Реальные, настоящие шаги, как оказалось, были сделаны лишь в военной области.

Хотя уже в то время при изучении процесса развития научного знания Д. Прайсом было показано, что существует мировая тенденция, устойчивая закономерность экспоненциального роста научного знания с периодом удвоения его объема, измеряемого числом публикаций в научных журналах, каждые 10–20 лет. Постиндустриальная наука XXI в. — величайшее достижение человеческого интеллекта, способное или привести человечество к принципиально новым блистающим вершинам, или погубить его. Но как повернется ход событий, зависит от человека, общества, а не от науки. Будем надеяться, что в новом столетии возобладает разум, а не безумие, гуманность, а не взаимная ненависть, наука, а не обскурантизм [Глазко, Чешко. 2007]. Следует отметить, что там, где наука задевает имеющееся на тот момент некое общее мировоззрение, она всегда одета в национальные одежды (хороший пример — наличие лысенковизма в СССР или наука в нацистской Германии). Позже, когда мировоззрение сложится и станет единым для почти всех, только тогда воцарится на время то, что Томас Кун назвал нормальной наукой. Ее, наверное, и можно считать безнациональной. Смену одного состояния нормальной науки на другое Кун назвал научной революцией. Доставка, например, в Англию первых экземпляров горилл из Африки содействовала смене эволюционной парадигмы — укреплению позиций дарвинизма. Внешний вид обезьян, их поведение, эмоции и многое другое не оставляли сомнений в нашем родстве.

В биологии хорошо известно, что сохранение вида, в частности млекопитающих, к которым принадлежит и человек, обеспечивается наличием двух врожденных инстинктов — самосохранения и продолжения рода. Они выработаны путем естественного отбора и включают множество разнообразных характеристик, спектр которых имеет свои особенности у каждого вида. Но есть в этом и главное — основа жизни — ДНК и ее стабильность. Суть секрета — в устройстве молекулы ДНК, в ее двух комплементарных цепочках как элемента стабильности. Несмотря на то что и на одной цепочке-ленте можно было бы записать всю наследствен-

ную информацию, без второй — трудно сохранить и точно воспроизводить.

Возраст жизни на Земле — почти четыре миллиарда лет. Эволюция, как предполагает концепция глобального эволюционизма, — сложный много-ступенчатый процесс, общая схема которого включает в себя стадии (Камшилов, 1974) космологической, химической, биологической (*биогенеза*) и социокультурной (*социогенеза*) эволюции. На одной из стадий эволюции химического состава литосферы, гидросферы и атмосферы Земли возникают полимерные молекулы с нерегулярной первичной структурой — белки и нуклеиновые кислоты. Уникальной особенностью этих нуклеиновых кислот является так называемая *конвариантная редупликация* (Тимофеев-Ресовский и др, 1977), т.е. способность к самокопированию (*репликации*) и случайному изменению своей структуры (*мутированию*), которое в дальнейшем также реплицируется. Конвариантная редупликация является необходимым и достаточным условием, обеспечивающим возникновение и протекание процесса *естественного отбора*, поскольку в результате возникает популяция различающихся между собой репликаторов, конкурирующих за источники энергии, и веществ, необходимых для собственного воспроизводства. Естественный отбор играет здесь роль информационного фильтра, пропускающего только те изменения генетической информации, которые повышают шансы выживания и репродукции репликаторов-генов.

Это благодаря нуклеиновым кислотам к нам, в сегодня, жизнь проби-лась сквозь многие катастрофы. Потрясшие Землю экологические катастрофы стерли с лица планеты динозавров, мамонтов и многие другие организмы. Следы их дошли до нас лишь в виде ископаемых. В куске каменного угля можно обнаружить отпечатки доисторического папоротника или окаменевшие раковины моллюска. В кусках янтаря — смоле реликтовых деревьев — можно разглядеть «мумии» насекомых. Какой-нибудь «запечатанный» в янтаре комар являет собой удивительное зрелище. Неисчислимый ряд поколений отделяет его от современных сородичей; казалось бы, он должен разительно отличаться от своих собратьев, родившихся в атомную эру. Но этого нет. Комар все тот же: природа пронесла облик насекомого из глубин сотен тысячелетий в наше время почти неизменным. Внешние различия есть, но они не так разительны, как количество лет, разделяющих представителей одного и того же вида, рода.

Как же природе удастся из века в век репродуцировать, раз за разом повторять свои изделия? И не приближенно, оставляя лишь главное, не заботясь о деталях, а творить, словно бы под копирку, добиваясь воспроизведения особенностей и даже самых мельчайших нюансов. Теперь мы знаем, что в фундаменте жизни лежит ДНК. Наследственность, изменчивость и отбор — вот основы, на которых держится жизнь и эволюция ее форм на Земле.

Время возникновения человека как вида оценивается по-разному, но, во всяком случае, не менее чем 0,5 млн лет назад [Глазко, Чешко. 2007]. Формирование человека как отдельного биологического вида началось примерно 14 млн лет назад с появлением рамапитека — последнего звена, связывающего нас с ныне живущими человекообразными обезьянами. В Кении группой М. Лики был найден *A. anamensis*, возраст которого оценили примерно в 4 млн лет. Родословное древо человека стало выглядеть как прямой ствол: *A. anamensis*, *A. afarensis*, *A. africanus* (возможно, с боковой ветвью, ведущей к *A. robustus* и окончившейся тупиком около 2 млн лет назад), *H. habilis*, *H. erectus*, *H. sapiens neanderthalensis* и *H. sapiens*. Одновременно с находками новых видов к основному стволу были добавлены *H. ergaster* перед *H. erectus*, а после него *H. heidelbergensis*. Австралопитеков — несколько видов с их большими мощными специализированными зубами — сочли настолько отдалившимися от классических австралопитеков, что объединили в отмененный прежде отдельный род *Paranthropus*. Неандертальцев же все чаще относили не к подвиду, а к отдельному виду людей «позднего» типа. Кроме того, *Homo rudolfensis*, современник *H. habilis*, стал рассматриваться как боковая веточка рода *Homo*. Были обнаружены фрагменты австралопитеков еще двух видов — *A. garhi* (Эфиопия) и *A. bahrelghazali* (Чад), живших во времена позднего *A. afarensis* и раннего *A. africanus*. В результате выстроить родословную в линию стало невозможно.

Т. Уайт и М. Лики нашли еще более ранние формы гоминид *Ardipithecus ramiius* (боковая ветвь гоминид) и на сегодня самого примитивного австралопитека — *H. anamensis*. Тем самым гипотеза Дарвина об Африке как центре формирования гоминид была подтверждена палеонтологически. Было найдено немало останков древних представителей гоминоидов из семейства Pliorithccidae (плиопитек, проплиотек и дендропитек). Предков современных гоминид в настоящее время ищут среди представителей подсемейства Dryopithesinae (дриопитек, рангвапитек, ксенопитек, проконсул, лимнопитек), появившихся в Африке 22–15 млн лет тому назад.

Моментом возникновения собственно человека, отделившим нас от предков-обезьян, можно считать появление примерно 2,5 млн лет назад первых представителей рода *Homo*. В целом в процессе эволюции гоминид существующая фенотипическая пластичность способствовала генетической, социокультурной и технологической эволюции.

Ближайшие наши ныне живущие на Земле родственники — шимпанзе (диплоидный набор хромосом $2n = 48$). Их геном практически идентичен нашему. Одна из теорий, объясняющих происхождение генетических различий, отделяющих человека от шимпанзе и успешный прогресс человека в различных условиях окружающей среды, исходит из наличия огромного числа ретротранспозонов. Другая — из того, что предками человека были

потеряны гены, обеспечивающие приспособление приматов к обитанию в условиях леса. Более слабая мускулатура, потеря волосатости и более медленное развитие, как предполагается, являются следствием этого. Это крупное событие — одноактное, имело место в одной малой группе. На это указывает очень небольшое генетическое разнообразие человечества по сравнению с генетическим разнообразием популяций шимпанзе — наших ближайших родственников.

Центром происхождения человека принято считать Африку, далее последовали сложные этапы и пути его распространения по земному шару. Для миграции человека было множество причин, ведущей из которых, возможно, являлось проявление инстинктов самосохранения и продолжения рода. Именно благодаря им человек для своего выживания научился создавать для себя искусственную среду обитания. Это и был зародыш современной техногенной цивилизации. Логика отношений с иными племенами и средой обитания в целом оказалась инвариантом, обеспечивающим выживание Человечества. При этих условиях природные опасности и социальные риски преодолеваются в результате дальнейшего расширения и углубления познавательно-преобразовательной деятельности человека во времени и пространстве. Это позволило ему осваивать все новые регионы [Глазко, Чешко. 2007]. Технологические инновации формируют новые адаптивные модули, проходящие через горлышко отбора. Наиболее значимая неолитическая технологическая революция — переход к земледелию и скотоводству. Она, помимо биологических последствий — изменения повседневной диеты — появления молока, углеводов и пр., нарушила социальный половой диморфизм. Эта социокультурная революция обеспечила мужскому полу больший доступ к ресурсам. Тем самым доминирующий вектор отношений между мужским и женским полами был надолго предопределен. Он выразился в их альтернативных стабильных репродуктивных стратегиях. Репродуктивная стратегия мужского пола у гоминид близка к классическому r-типу — оставить как можно больше потомков, женского пола — к K-типу — довести как можно больше потомков до репродуктивного возраста.

Но, главное, это означало, что весь мир становится экологической нишей *Homo sapiens*, и согласно правилу Гаузе в нем нет и не будет места другим разумным конкурентам, что мы в конечном счете видим и до сих пор... Только эти взаимоотношения перешли из межвидового уровня к внутривидовому и межпопуляционному.

Окончательно определились и границы экологической ниши рода *Homo* как социального «животного, наделенного разумом», существа, не адаптирующегося к среде обитания, а приспособляющего существующую реальность к самому себе, а в дальнейшем и самого себя к некоему идеальному образу.

В ходе антропогенеза возникает и принципиально новый модуль — социальная наследственность. Это автономная система передачи и воспроизведения информации через воспитание и обучение. Другое — доминирование рационалистической компоненты мышления, катализировавшее развитие науки и технологии как энхансера адаптивной инверсии. Это резко ускорило процесс эволюционных изменений. Другой модуль — символическая система коммуникации — речь посредством мимического и звукового кода, а затем письменность (символическая наследственность).

Этот процесс сопровождался и существенными экологическими изменениями. Часто, захватывая новую область, человек настолько ее истощал, что возникала пустыня, например знаменитая пустыня Сахара.

Это приводило к дальнейшей миграции человека в пока более плодородные земли. В XIX в. двухмиллионный поток шел из Ирландии в Америку из-за голода и распространения фитофторы. В начале XX в. огромный поток эмигрантов шел из России, особенно после 1917 года. Сегодняшний пример — XXI века — поток беженцев в Европу из Африки. Основным источником всех бед — политическая нестабильность и связи, необходимые для выживания в огромной пустынной местности, охватывающей Сахару в Северной Африке, Аравийский полуостров, Синайскую пустыню, а также пустыни Сирии, Ирака и Иордании. В пустыне необходимое условие для выживания — человек — часть племени, чтобы защитить свои источники воды от других племен, также нуждающихся в воде. Этот факт превращает «другого» во врага, он чужой. Арабский мир во многом в этом образе жизни — даже в Европе. По цифрам мигрантов все потоки последние два века — сопоставимы.

Все это характерно для любого социокультурного гомеостаза, основанного на согласовании противоположно действующих сил и факторов. Хозяйственная деятельность человека в конечном итоге приобрела роль геологического фактора глобального масштаба, как писал об этом В.И. Вернадский. И реальный человек в этом мире перестал чувствовать себя как дома. Но в результате эволюции у человека возникла уникальная система выживания — стабильная эволюционная стратегия в составе трех автономных сопряженно эволюционирующих модулей — генетического, социокультурного и технорационалистического.

Одна из особенностей человеческого сознания состоит в том, что нам свойственно придавать приоритетное значение той информации, которая касается нас самих или наших близких. В то же время информация о событиях, несущих угрозу жизни, если эта угроза как-то отдалена во времени в будущее или носит вероятностный характер, в индивидуальном восприятии кажется достойной меньшего внимания. Например, высокая вероятность наступления преждевременной смерти мало кого отвратила

от курения табака, зато какую бурю эмоций способно вызвать изменение вкуса привычной еды или технологии ее приготовления. Наглядный пример — широкая кампания против генетически модифицированных сортов растений (ГМО).

Такая «аберрация важности в сознании» ведет к тому, что у общества большой отклик вызывает, например, проблема содержания нитратов в овощах, с которыми мы встречаемся практически ежедневно, притом самым непосредственным образом, за столом. Мы легко понимаем, что избыток нитратов угрожает нашему личному здоровью. В то же время совершенно реальная опасность — риск повышения уровня радиационного фона и разрушения озонового слоя атмосферы, угрожающего небывалым увеличением частоты генетических и раковых заболеваний, активацией опасных инфекционных болезней, настолько мало трогает большинство людей, что даже особо и не обсуждается, например, необходимость отказа от употребления в быту аэрозольных баллончиков. А ведь фреон, выбрасываемый из них вместе с дезодорантом, лаком, краской или инсектицидом, является одним из основных «истребителей» озона. Конечно, аварии на промышленных холодильных установках приводят к еще большим выбросам фреонов, но и бытовые аэрозоли играют заметную роль в повышении содержания фреонов в атмосфере [Розанов, 2001]. Отсюда хорошо видно, что категория риска, а следовательно, и «опасного знания» имеет не только объективно научную, но и другую компоненту — социокультурную составляющую. Причем восприятие риска зависит от конкретного субъекта, а интерпретация — от конкретного социума [Глазко, Чешко, 2007].

Будущее развитие социумов невозможно без поддержания высоких темпов развития науки, в том числе и таких «рискогенных» ее областей, как генетика, физика, химия. И это несмотря на напряжение, которое они вызывают с уже существующими доминантами в обществе. Появление доктрины «опасного знания» — результат трансформации менталитета человечества на рубеже III тысячелетия. Ощущения глобального кризиса, тупика, в котором оказалось *Человечество*, возникли, в частности, в результате сходства и различий в менталитете нескольких этносов, которые повлекли за собой две мировые войны и «борьбу за мир», точнее за мировое господство. Этому помог переход из индустриального общества в фазу постиндустриальную, формирование ядерных, информационных, компьютерных, генных технологий и вызванный ими в обществе шок от возможных последствий.

Современный риск отличается от доиндустриальных тем, что истоки его лежат в политических решениях, принимаются не индивидами, а, к сожалению, государственными политическими структурами.

Кроме этого, возникающие риски проистекают из наиболее современных теоретических и технологических разработок, а способы предот-

превращения негативных последствий таких рисков основываются на фундаментальных знаниях и технологиях вчерашнего дня.

Хроника генетики, истории

В основе представленных хронологий — генетики, геной инженерии, ДНК-технологий — лежит естественная необходимость представить последовательность событий, приведших к современному этапу осознания состояния науки и общества. Это необходимо. Без понимания логики развития естествознания, приведшей к современным биотехнологиям, возникает феномен «опасного знания», наличие которого превращает социум в «общество риска». Реальный переход биосферы в ноосферу требует направлений поисков ее стабилизации. В настоящее время генетика превратилась в мощный инструмент не только исследований организации биосферы, но и создания агротехнологий, реально направленных на снижение скорости разрушения биосферы, увеличения вероятности более устойчивого развития аграрной цивилизации и выживаемости человечества как вида.

Парность задатков — парность хромосом — двойная спираль ДНК, таково логическое следствие идей, заданных Г. Менделем науке XX и XXI вв. Работа Грегора Менделя считается фундаментом современной генетики. Генетика — наука о закономерностях наследственности и изменчивости признаков у организмов. Наследственность и наследование — две разных характеристики. *Наследование* — процесс передачи задатков наследственно детерминированных признаков и свойств организма в процессе размножения от родителей потомкам. *Наследственность* — свойство структур клетки и организма в целом обеспечивать материальную и функциональную преемственность между поколениями. *Изменчивость* — источник изменения генов (мутации, их комбинаторика), а также изменения их проявления в процессе индивидуального развития организмов и под влиянием факторов окружающей среды. Наследственность сохраняет не только сходство, но и различия организмов в ряду поколений. Наследственность и изменчивость — два основных фактора, обеспечивающих эволюцию органических форм на Земле.

Лучше всего наследственность на ранних этапах развития Человечества была изучена на домашних растениях. «Отцом ботаники» признан Теофраст, знаменитый ученик Аристотеля. У него есть много описаний изменений растений под влиянием заботы человека или перемены климата, а также взятых у учителя примеров резких изменений животных. В «Исследовании растений» Теофраст сравнил их с превращением личинки в насекомое. Теофраст занял достойное место в истории биологии.

После Менделя стало ясно, что наследуемое свойство — это закодированное сообщение, т.е. информация. И как всякая информация, она имеет свой материальный носитель, способ записи, хранения, передачи и свое содержание. Важно, что в отличие от Г. Менделя изменчивость представлялась Ч. Дарвину и его современникам неограниченной, беспорядочной, идущей во всех направлениях. Организм обладал как бы «восковой пластичностью». Принятие этого исходного хаоса изменений было существенно для дарвинистов. Законы Менделя подчинили этот хаос математическим закономерностям. Число изменений при гибридизации вводилось в четкие рамки расщепления. До Г. Менделя многообразие форм в потомстве гибридов объясняли «ослаблением силы наследственности», не было научных принципов описания и изучения гибридов. Странно, но многие биологи до Менделя наблюдали те же самые закономерности расщепления проявления признаков, однако не делали на основании этого важных заключений о дискретности элементарных факторов материала наследственности, возможности наличия для каждого из них разных состояний (аллелей), доминантно-рецессивных взаимоотношений этих состояний при проявлении в фенотипе и сохранности их без изменений при передаче потомству. Работая с растениями, Мендель оставался на уровне полученного образования больше физиком и математиком, чем ботаником. Даже его терминология не полностью соответствовала терминологии ботаников. Менделю удалось создать фундамент новой науки, которая потом будет названа генетикой, благодаря тому, что он сумел сформулировать гипотезу до эксперимента. И он ожидал определенного результата, за которым следовал скрупулезный статистический анализ. Сам Мендель на то время не имел ни малейшего понятия о генах. Поэтому единицы наследственности, передающиеся от растения семенам, он называл элементарными факторами наследственного материала. [[Глазко, Чешко. 2007]

Как выяснилось впоследствии, предшественники Г. Менделя наблюдали все характерные черты поведения этих факторов при гибридизации: доминирование (Т.Э. Найт), комбинирование в потомстве (О. Сажрэ) и принцип единообразия первого поколения и расщепления (П. Нодэн).

У Г. Менделя был один удивительный предшественник, почти вскрывший основные закономерности наследования признаков за 35 лет до работ Менделя. Это О. Сажрэ — французский растениевод (1763–1851), автор замечательных работ по гибридизации тыквенных, создатель новых сортов груш и ряда плодовых (семечковых и косточковых) деревьев. Впервые в истории изучения наследственности он стал учитывать отдельные признаки скрещиваемых растений [Глазко, 2011]. Один из главных экспериментов Сажрэ — скрещивание дыни сорта шатэ с сетчатой дыней канталупа — привел его к следующему заключению: «Наблюдается го-

раздо более выраженное распределение различных признаков, без всякого смешения между собой». Так был впервые установлен принцип единичных признаков.

В 1824 г. в Англии была опубликована большая статья «Некоторые замечания о предполагаемом влиянии пыльцы в скрещивании на окраску кожуры растений и качество их плодов» Т. Найта (1759–1838) — выдающегося растениевода, создателя Лондонского общества садоводства, первого его президента. Найт экспериментировал на разновидностях гороха, совершенно сознательно, как впоследствии и Мендель, выбрав этот вид для исследований. Найт наблюдал за изменением цвета кожуры семян и окраски цветов у разных гибридов в процессе скрещиваний. Он обнаружил их постоянство, неизменность, т.е., по существу, подошел к пониманию явления доминирования, в основе которого лежит дискретность, прерывистость отдельных признаков и рецессивно-доминантные отношения между их разными состояниями.

Но лишь Менделю принадлежит приоритет в установлении четких количественных закономерностей в наследовании проявления признаков в ряду поколений, куда непротиворечивым образом вошла вся предшествующая феноменология. Установленные Менделем законы наследования признаков (единообразие первого поколения, расщепление и независимое комбинирование) являются естественно-научными законами, так как для этих законов: а) определена точная сфера применения, за пределами которой они нарушаются; б) они дают возможность предсказания и опытной проверки и в) возможность количественного описания и математической формулировки.

Грегор Мендель (1822–1884), сын силезского крестьянина, отлично учился в школе и хотел стать учителем природоведения, однако бедность родителей заставила его выбрать послушания в августинском монастыре Святого Фомы города Брюнна (ныне Брно, Чехия). Мендель принял обет монаха-францисканца в возрасте 25 лет. В 1847 г. принял сан священника, поменял мирское имя «Иоганн» на церковное «Грегор». Мендель вначале учился в Ольмюцком философическом институте, а в 1851 г. администрация монастыря посылает его в Венский университет для изучения естественных наук, математики и физики. Эти предметы стали его первой и последней любовью. Увлечение физикой и математикой чувствуется в его работах. Мендель в новой для себя области применял в работе с растениями те же строгие аналитические методы исследований, которые были характерны для физики и математики.

Мендель занимался преподаванием ряда наук: цветоводства, плодоводства и пчеловодства. Был также учителем математики и греческого языка, позже — физики и естественной истории, занимался опытами по скрещиванию растений. В XIX в. в школах и гимназиях Европы часто

можно было видеть монахов, преподававших не только «слово божие», но и светские науки — химию, ботанику, зоологию. В его домашней библиотеке хранились все основные сочинения Дарвина.

Мендель ставил свои эксперименты с растениями в монастырском саду (крохотном, 7 на 35 метров, под окнами своей кельи).

Поселившись в 1852 г. в аббатстве Святого Фомы в Брюнне (сейчас Брно), Мендель приступил к научным исследованиям, которые не прекращал до конца своей жизни. Он тщательно записывал в дневник изменения дневной температуры, влажности и даже уровня воды в колодце аббатства как меры атмосферного давления, наблюдал за появлением и развитием пятен на Солнце, пытался скрещивать разновидности пчел и мышей. Мендель основал местное общество естествоиспытателей. Наконец, он занялся скрещиванием растений гороха в монастырском саду. В течение восьми лет начиная с 1856 г. неторопливо и тщательно он проводил загадочные для посторонних опыты: скрещивал различные сорта садового гороха и терпеливо фиксировал результаты, подвергая их математической обработке. В результате своей скрупулезной работы Мендель разработал новые стандарты биологических экспериментов. Благодаря Грегору Менделю биология стала еще более точной наукой, проникнув на уровень генов и отдельных молекул.

В 1865 г. итоги работы были доложены на двух заседаниях в Брюннском обществе естествоиспытателей, а в 1866 г. — опубликованы под названием «Опыты над растительными гибридами» в «Записках» того же общества. Мендель представил результаты своей работы членам местного общества естествоиспытателей. Коллеги одобрили опубликование этих материалов. Копии статьи Мендель разослал биологам, которых он уважал как специалистов. В их числе был Карл-Вильгельм Нэгели (Karl-Wilhelm Nageli). Хотя Мендель был скромным человеком, он хорошо осознавал значимость результатов своих экспериментов для науки. Он писал Нэгели: «Я знаю, что полученные мною результаты не совсем совпадают с нашими сегодняшними представлениями [о наследственности], и опубликование отдельно взятого эксперимента может привести других исследователей к неправильным выводам». Нэгели считал так же и предложил Менделю перепроверить свой закон на наследовании признаков у других организмов. В частности, он посоветовал поставить эксперименты на ястребинке — растении, которое, как оказалось позже, совершенно не подходило для таких исследований, поскольку размножалось партеногенетическим путем. Естественно, у Менделя ничего не получилось с этим растением.

Многие полагали, что издатели поместили работу Менделя в сборник только потому, что более интересных материалов тогда не нашлось. Но не будь этой публикации, Мендель не стал бы всемирно известным

исследователем, отцом учения о наследственности. Известно, что труды общества естествоиспытателей в Брно со статьей Менделя были разосланы в 120 научных библиотек мира, а сам Мендель дополнительно распространил еще 40 оттисков. Не было ни дискуссий, ни просто вопросов к творцу новой науки. Чувствуя всю шаткость своего положения никому не известного любителя, Мендель решил обратиться к тогдашним светилам ботаники. Его выбор пал на немецкого ботаника Карла-Вильгельма Нэгели (1817–1891), который одним из первых начал применять математические методы в ботанике. При жизни выдающиеся, теперь классические, исследования Менделя не были по достоинству оценены, хотя не только Нэгели, но и другие крупные биологи знали о них. В 1871 г. Мендель стал аббатом и последние 13 лет своей жизни не занимался наукой. Церковные заботы занимали все больше его времени. А также серьезная болезнь глаз заставила его прекратить исследования по гибридизации растений, однако главное дело своей жизни он уже совершил.

Мендель больше не публиковал своих статей и перестал рассылать результаты экспериментов мировым знаменитостям. Некоторые исследователи ссылались на его работы, например Джордж Романес (George Romanes), но в целом работы Менделя оставались незамеченными. Ученый скончался, не подозревая о произведенном им революционном перевороте в научных взглядах. Он не узнал, какое влияние его открытие оказало на дальнейшее развитие биологии в целом и на возникновение нового научного направления — генетики.

Любой физик, столкнувшийся с такой повторяющейся закономерностью, назвал бы ее законом. Так и поступил Мендель. Он назвал установленную закономерность законом комбинирования проявления различных признаков. В этом законе ничего не говорилось о независимом наследовании признаков. Мендель просто описал то, что видел собственными глазами, не стараясь докопаться до сущности феномена. Но Мендель предположил, что для передачи признаков из поколения в поколение должны использоваться какие-то носители, которые он назвал *элементами*. Элементы, проявляющие себя в первом поколении, он назвал *доминантами*, а скрытые элементы, проявляющиеся через поколение, — *рецессивами*. Таким образом, если в одном растении окажутся вместе элемент, отвечающий за зеленый цвет горошин, и элемент желтых горошин, то в этом растении все горошины будут желтыми. Рецессивный элемент в паре с доминантным никуда не исчезает, но никак себя не проявляет. Этот простой вывод прояснил многие моменты в механизмах наследственности, которые долгое время не давали покоя эволюционистам. Было четко доказано, что потомок может получить только по одному элементу наследственности от своих родителей, т.е. отец и мать в равной мере определяют наследуемые признаки своих детей.

В общем, Грегор Мендель сделал концептуальное открытие: он создал научные принципы описания и исследования гибридов и их потомства (какие формы брать в скрещивание, как вести анализ в первом и втором поколениях и т.д.). Он установил законы наследования признаков; высказал идею бинарности наследственных задатков, т.е. идею, что каждый признак контролируется парой задатков или аллелей (как стали их потом называть), которые никуда не исчезают, а лишь рассоединяются при образовании половых клеток и затем свободно комбинируются у гибридов и их потомков. Это была новая и очень важная концепция. Даже Дарвин был убежден, что самцы в большей степени влияют на признаки детей. Поводом для этого послужила распространенность в Англии ложных представлений заводчиков породистых собак о том, что яйцеклетка может оплодотворяться сразу несколькими сперматозоидами. Оказалось, что элементы наследственности не оказывают никакого влияния друг на друга и их свойства не изменяются от поколения к поколению. Рецессивный признак не ослабевает от того, что в течение нескольких поколений он был скрытым. Это опровергало теорию Френсиса Гальтона о прогрессивном ослаблении признаков, унаследованных от родителей, дедушек, прадедушек и далее по родословной.

Гибридологический метод, связанный с изучением характера наследования отдельных признаков и свойств, в значительной мере предопределил успех исследований Менделя и позволил ему выявить и сформулировать основные правила наследуемости проявления признаков.

Возможно, что монашеский сан Грегора Менделя был причиной того, что ученый мир долгое время игнорировал его труды. Это было несправедливо. Долгое время именно в монастырях изучалась и поддерживалась наука. Мендель стал монахом по той же причине, по которой Дарвин чуть было не стал сельским пастором. Работа священником, по крайней мере в Европе, оставляла много свободного времени, чтобы заниматься научными исследованиями.

Интуитивно предугаданная Г. Менделем, возможно на основании предварительных скрещиваний, закономерность поразила его своей внутренней логикой и красотой и дала толчок к основным трудоемким семилетним опытам, которые были самым тщательным образом спланированы.

Ему удалось увидеть гармонию чисел, согласие явлений природы, стройность и порядок, проглядывающие сквозь путаницу явлений. Многие генетики и историки (в их числе знаменитый английский биолог, эволюционист и математик Р. Фишер) доказывают, что Мендель знал, что он ищет. Что-де он сначала интуитивно проник в «душу природных событий», а уже затем так спланировал свои опыты, чтобы озарившая мозг идея подтвердилась наилучшим образом и в кратчайшие сроки. Поэтому

он останавливает свой выбор на лучше всего пригодном для опытов растении — горохе. И в этой связи он два года отбирает наиболее подходящие признаки и затем берет для экспериментов ровно столько растений, сколько нужно, чтобы можно было установить «численные отношения» для генетических законов. [Глазко 2011].

Красота и строгость числовых соотношений в проявлении признаков — во втором поколении при моногибридном скрещивании 3 : 1 и при дигибридном — 9 : 3 : 3 : 1, выявленных на горохе, завораживала. Возможность делать предсказания о поведении признаков у гибридов и характере расщепления в их проявлении в первом и втором поколениях — все это убеждало Г. Менделя в своей правоте, в том, что найденные им законы имеют всеобщий характер. Оставалось убедить других.

Другой важный этап для нашего понимания природы материала наследственности начался с работы Фридриха Мишера, который в 1869 г. открыл нуклеиновые кислоты. Естественно, как и на работу Грегора Менделя, в то время никто не обратил ни малейшего внимания на это открытие. И 100 лет спустя, в 1969 г., никто особо не праздновал дату важного открытия — момента обнаружения *молекул материала наследственности*.

В 1875 г. Э. Страсбургер (Strasburger), О. Бючли и В. Майзель в своих работах прояснили последовательную картину преемственности процессов и фаз деления клетки (митоз). Наблюдая за оплодотворением, немецкий биолог Оскар Гертвиг (O. Hertwig) описал слияние яйцеклетки и спермия морского ежа и показал, что число хромосом при оплодотворении удваивается путем слияния двух ядер гамет. В 1878 г. В. Флеминг на примере развивающихся личинок саламандры показал последовательные стадии митоза с описанием явления расщепления отдельных хромосом на две с последующим их расхождением по дочерним клеткам. В 1883 г. Ру (Roux), наблюдая поведение хромосом в мейозе, пришел к выводу об их участии в передаче наследственности и отметил огромное значение факта продольного расщепления хромосом — образования хроматид в процессе деления клетки (ядерная гипотеза наследственности).

В 1889 г. F. Galton ввел количественные методы оценки популяций в генетику в работе «Естественное наследование». Гуго де Фриз выдвинул свою гипотезу внутриклеточного пангенеза и ввел термин «панген». Геммулы Ч. Дарвина представляли ткани и органы, пангены де Фриза соответствовали элементарным факторам наследования проявления признаков внутри вида. В 1893 г. Август Вейсман опубликовал «Теорию зародышевой плазмы» — у зародышей многих животных на ранних стадиях развития обособляется группа клеток, которые у взрослого организма дают начало репродуктивным тканям. Эти репродуктивные, или зародышевые, клетки отделены поэтому от остального организма, или сомы,

и именно одни лишь эти клетки передают следующему поколению детерминанты (гены). В 1898 г. С.Г. Навашин открыл двойное оплодотворение у цветочных растений.

Переоткрытие работы Менделя в 1900 г. ограничилось самой статьей, но смысл и глубина его законов не были поняты сразу полностью ни одним ученым. Сразу три исследователя — Гуго де Фриз (Голландия), Карл Корренс (Германия) и Эрих Чермак (Австрия), работая независимо друг от друга, в исследованиях на растениях открыли закономерности расщепления гибридов — законы наследования проявления признаков, описанные Г. Менделем в его труде «Эксперименты по гибридизации растений» на 35 лет раньше. 1900 год принято считать официальным рождением генетики. Гуго де Фриз предложил диггибридами называть организмы, полученные от скрещивания особей, отличающихся одновременно двумя парами альтернативных признаков; если признаков три пары — тригибридами; многими признаками — полигибридами. Карл Корренс (Correns) открыл явление сцепления генов. Благодаря работам орнитолога О. Кляйншмидта начался новый возврат к представлениям о дискретности систематических единиц и к реальности вида.

Современники работы Менделя не поняли. Дарвин умер, так и не узнав, что уже сделано открытие, выводящее его учение из логического противоречия, известного под названием «кошмар Дженкина», о том, что любые приобретенные с помощью естественного отбора новые признаки, по представлениям того времени, должны были растворяться, теряться при скрещивании в череде поколений. Менделизм, в котором многие видели сначала «подкоп» под дарвинизм, на самом деле его обновил и подтвердил. Сформированные в ходе эволюции новые наследственные зачатки не пропадают зря, а даже в скрытом, не проявленном в виде признака состоянии они готовы дождаться своего часа, чтобы сыграть свою роль в эволюции.

Прошло только четыре года после публикации в Брюнне трудов общества естествоиспытателей со статьей Г. Менделя. В 1869 г. выходит в свет монография немецкого палеонтолога В. Ваагена (1841–1900) «Формообразование у *Ammonites subradiatus*». Рассматривая возникновение новых форм аммонитов в юрских отложениях, Вааген вводит в науку новое понятие — «мутация», что означает скачкообразный переход от одной систематической формы к другой, это как бы резкое изменение во времени.

Однако главной теоретической находкой Ваагена было выделение в филогенезе «единичного филетического признака». На палеонтологическом материале, считал Вааген, можно проследить как бы движение этого «единичного признака» во времени.

В начале 1884 г. после тяжелой болезни умирает в монастыре в Брюнне прелат Грегор Мендель. Он умирает, не дождавшись признания своего

открытия, а через несколько месяцев после его смерти в Мюнхене выходит в свет книга К. Нэгели «Механико-физиологическая теория эволюции», в которой приводятся мысли, как ныне считают историки науки, навеянные многочисленными, для тогдашнего неторопливого времени привычно обстоятельными, многостраничными письмами Г. Менделя с изложением результатов его опытов: «Каждый видимый признак находится в идиоплазме в виде задатка; имеется поэтому столько же родов идиоплазмы, сколько бывает комбинаций признаков».

В этом высказывании важно то, что речь идет о наследственных задатках как представителях отдельных признаков особи, а не клеток, органов или частей тела, как широко принималось в то время большинством исследователей (в том числе Ч. Дарвином и А. Вейсманом). Большинство, но не всеми.

Таким образом, хотя работа Г. Менделя и осталась похороненной в нескольких сотнях экземпляров трудов любительского общества Брюнна, но обусловленное ею движение биологической мысли, которое было начато трудами О. Сажрэ и К. Найта, непрерывно продолжалось.

В 1883 г. Август Вейсман (1834–1914) заявил, что наследование приобретенных свойств — постулат, широко распространенный и тогда, и сегодня, не имеет обоснования. Он указал, что для передачи потомству изменение должно попасть в половую клетку, тогда как проявляется оно в соматических (неполовых) клетках.

В конечном итоге идея Вейсмана «Ядерная теория наследственности» включала следующие положения: ядерное вещество контролирует формирование и функционирование всех клеток. При митозе оно делится пополам, давая эквивалентные продукты; перед оплодотворением яйцеклетки теряют половину своего вещества во втором редукционном тельце и оно может быть возмещено только ядерным веществом спермы; половое размножение основано на слиянии двух ядер в каждом поколении.

Поскольку число хромосом и количество ядерного вещества не могут удваиваться в каждом поколении без соответствующей компенсации, то количество ядерного вещества должно быть вдвое меньшим как в мужской, так и в женской половой клетке (здесь Вейсман предсказал редукционное деление, которое тогда еще не было известно); между ядерным веществом яйцеклетки и спермы нет существенных генетических различий.

А. Вейсман также установил, что наследственные факторы сосредоточены в хромосомах. Он утверждал, что половое размножение — способ сохранения и закрепления индивидуальной изменчивости, благодаря которому поставляется материал для естественного отбора [Глазко 2011].

Бессмертна заслуга Вейсмана в том, что он первый заявил, что половые клетки защищены от влияния внешней среды («барьер Вейсмана»).

Позже Вейсман пошел дальше и указал возможный путь изменения наследственного материала при жизни — патологическое воздействие на половые клетки. Это было уникальное прозрение — предвиденье патологического стресса, однако оно опережало век, и тут открытие Вейсмана не заметили.

В 1901. Э. Фишер, Э. Фурно формулируют представление о строении белков. Гуго де Фриз (H. de Vries) ввел термин «мутация» и дал его определение. Суть мутационной теории де Фриза сводится к следующим положениям:

- мутация возникает дискретно, без переходов;
- новые формы константны;
- мутация является качественным изменением;
- мутации разнонаправленны (полезные и вредные);
- выявляемость мутаций зависит от размеров выборки изучаемых организмов;
- одни и те же мутации могут возникать повторно, т.е. гены способны мутировать, мутационные варианты — аллели.

Гуго де Фриз вводит представление о существовании особого нестабильного состояния наследственных факторов, приводящего, например, к мозаичной окраске цветка.

Хотя уже было известно множество мутаций, ученые практически ничего о них не знали. Мутациями назывались любые видимые отличия между родителями и потомками. В мутациях эволюционисты новой волны увидели движущую силу развития вида — его эволюцию. Если мутация не ведет к смерти и измененный организм сохраняет достаточную способность к жизни и размножению, утверждал Морган, то мутант найдет свою экологическую нишу и закрепится как новый вид. Концепция естественного отбора была совершенно забыта, либо ей отводилась второстепенная роль в отсеивании незначительных вариаций.

После того как законы Г. Менделя были вновь открыты в 1900 г., на протяжении следующих нескольких лет формулируются основы той науки, которую сегодня мы называем генетикой. Но пока это еще не самостоятельная дисциплина, а ветвь экспериментальной биологии, имеющая дело с изучением наследственной изменчивости.

Дискретное наследование признаков означало, что существенные положительные изменения в морфологии организма могут произойти естественным путем как результат накопления многих рецессивных признаков. Мутации перестали быть единственным источником вариаций. Закон Менделя для многих послужил доказательством того, что представление Дарвина о постепенном ходе эволюции в результате накопления незначительных изменений из поколения в поколение является ложным. Ничего подобного не было в изменениях признаков гороха в опытах Менделя.

Признаки изменялись быстро и радикально в одну или другую сторону. Прошли десятилетия, пока ученые поняли, что между этими взглядами не так уж много противоречий. Главным достижением было доказательство того, что изменчивость признаков является естественным процессом наследуемости проявления признаков, не требующим божественного вмешательства или противоестественных мутаций.

В 1902–1909 гг. У. Бэтсон (W. Bateson) ввел в широкое употребление термин «генетика» (от лат. *geneticos* — относящиеся к происхождению, *genos* — род, рождение, происхождение) как определение науки о физиологии наследственности и изменчивости, «аллеломорфы», «гомозигота», «гетерозигота», «F1, F2», «эпистаз» и т.д. У. Бэтсон и Р. Пеннет (W. Bateson, R. C. Punnett) наблюдали явление сцепления в наследовании некоторых признаков при дигибридном скрещивании у растений. Соотношение генотипов оказалось 9 : 7, а не 9 : 3 : 3 : 1, как это должно было быть исходя из менделевской закономерности.

В 1903 г. де Фриз предложил теорию видообразования за счет макромутаций. В. Сэттон доказал полное сходство менделевских закономерностей расщепления признаков с явлением расхождения хромосом в разные гаметы в процессе мейоза. W. Waldeyer определил центромеры как хромосомные районы, к которым крепятся нити веретена при митозе. В 1904 г. Т. Бовери цитогенетическими методами подтвердил сформулированную В. Сэттоном хромосомную теорию наследственности. В 1905 г. С.С. Четвериков обратил внимание на то обстоятельство, что периодические колебания численности (или «волны жизни» по Четверикову) могут влиять на направление и интенсивность давления естественного отбора. Цитологи Д. Фармер и Д. Мур подробно описали мейоз. Е. Вильсон экспериментально доказал хромосомную теорию определения пола. К.С. Мережковский подверг критике представление о том, что хлоропласты происходят в результате дифференциации цитоплазмы, он подчеркивал непрерывность пластид в чреде поколений и предположил, что клетки синезеленых водорослей могли быть вероятными предшественниками хлоропластов и, таким образом, фотосинтезирующая клетка зеленых растений имеет симбиогенетическое происхождение. У. Бэтсон в 1906 г. предложил слово «генетика» как определение науки о физиологии наследственности и изменчивости. В 1908 г. Н. Hardy, W. Weinberg независимо друг от друга сформулировали закон популяционной генетики — постоянства аллельных частот при отсутствии отбора, мутаций и миграции. Г. Нильсон-Эле ввел понятие «полимерия». К. Корренс исследовал пестролистность (цитоплазматическая наследственность) у *Marabalis jalapa*. В 1909 г. Ф. Янссенс описал образование хиазм — обмен гомологичными участками гомологичных хромосом. У. Бэтсон опубликовал сводку наследования по Г. Менделю около 100 признаков растений

и столько же у животных. А.Е. Гаррод (Garrod) опубликовал книгу «Врожденные ошибки метаболизма». С.С Литтле (Little) была создана первая селекционно-генетическая программа для создания линейных мышей (линия DBA). В 1909 г. датчанин Вильгельм Иогансен предложил и ввел термин «ген» для обозначения дискретных менделевских факторов, воспользовавшись второй частью термина де Фриза («панген»), и заменил неопределенные понятия «зачатка», «детерминанта», «наследственного фактора». Ген, по Иогансену, — реально существующая, независимая, комбинирующаяся и расщепляющаяся при скрещиваниях единица наследственности, самостоятельно наследующийся наследственный фактор; совокупность генов составляет генотип. *Фенотип* — совокупность всех внешних и внутренних признаков, «он является выражением очень сложных взаимоотношений». *Аллели* — формы состояния гена, вызывающие фенотипические различия, локализованы на гомологичных участках парных хромосом.

Выдающейся чертой менделевской работы было постулирование связи наследования признаков с дискретными факторами половых клеток. Высказанная Менделем гипотеза чистоты гамет явилась предвидением поведения хромосом в мейозе. Эта вторая сторона работы Менделя имела и имеет всеобщее значение на протяжении всего развития генетики. Основоположник генетики Мендель подчинил хаос изменчивости, которая в его время считалась неограниченной и беспорядочной, четким математическим закономерностям. Он установил порядок там, где все видели только причудливую игру «сил наследственности». Кроме того, оказалось, что индивидуальные отклонения (модификации) не наследуются и что отбор эффективен в популяциях до тех пор, пока не исчерпана наследственная гетерогенность. С.И. Коржинский и Г. де Фриз установили, что наследственные изменения — мутации, в результате которых образуются элементарные виды (жорданоны), могут возникать вне всякого отбора, а не путем накопления мелких адаптивных уклонений. А увидеть гены, превратить это поначалу полумифическое, зыбкое, ускользающее понятие в реальность, в нечто материальное и различимое удалось американцу Томасу Ханту Моргану (1866–1945). Американский биолог Томас Хант Морган (Thomas Hunt Morgan) посетил в 1907 г. экспериментальный сад де Фриза в Амстердаме. Морган изучал индивидуальное развитие организмов, но под впечатлением от увиденного в лаборатории де Фриза он сменил область своих интересов и занялся наследственностью. Коллеги из Колумбийского университета (Нью-Йорк) в 1908 г. были удивлены, когда Морган, профессор экспериментальной зоологии, получивший уже широкую известность как эмбриолог (эмбриология — наука о зародышах человека, животных, растений), решил заняться модной, но неустоявшейся наукой — генетикой. Он был сторонником представлений о саль-

гационных эволюционных изменениях. «Природа штампует новые виды без промежуточных звеньев», — писал он. Но сначала он весьма скептически отнесся к закону наследственности Менделя, посчитав его притянутым за уши.

Когда Т.Х. Морган начал экспериментировать с плодовыми мушками, он не был приверженцем ни Дарвина, ни Менделя. Хотя Морган и признавал, что биологическая эволюция существует в некоторой форме, он сомневался в естественном отборе и менделевском наследовании как ее механизмах. Решив перепроверить все самостоятельно, он начал с опытов над мышами и крысами, но это было дорого для университета. Поэтому он перешел на опыты над *Drosophila melanogaster*, известной как плодовая мушка. Моргану для исследований выделили небольшую лабораторию в Колумбийском университете. Пищей для мух служили бананы.

Морган стоял на своем: он хотел проверить, действительно ли, как утверждал Грегор Мендель, в клетках существуют гены. Полученные результаты убедили его в правильности теории и позволили открыть клеточную структуру, благодаря которой признаки передаются от поколения к поколению.

Морган не только доказал, что фенотипы наследуются в соответствии с законами Менделя, но и показал, что единицы наследственности находятся в хромосомах. Эти структуры, расположенные в ядре клетки, были открыты в 1840-х гг. Функция их оставалась загадкой. В 1902 г. биолог Теодор Бовери и генетик Уолтер Сагтон независимо друг от друга предположили, что хромосомы могут содержать материал наследственности. Морган сомневался и в их гипотезе. Морган получил материальные доказательства, завершившие менделевскую революцию.

Морган обладал редким умением собирать вокруг себя талантливую молодежь. Один из его будущих ближайших сотрудников Келвин Бриджес (1889–1938) зашел к Моргану, чтобы узнать, нельзя ли немного подработать, и получил задание мыть пробирки. Через неделю ему понравился не только шеф, но и понравилась наука генетика. Кельвин Бриджес (Calvin Bridges) придумал ряд усовершенствований для лаборатории и поддержания лабораторных популяций плодовой мушки. Он разработал плотную агаризованную питательную среду, в состав которой входила кукурузная мука, а также дрожжевой экстракт и патока, а для поддержания температуры использовал не свет электрических ламп, а термостат.

Девятнадцатилетний студент-второкурсник Алфред Генри Стертевант (1891–1970) был страстным лошадиником, рылся в книгах, пытаясь установить, как наследуется масть. Отчаявшись, он пошел за разъяснениями к Моргану и... остался в его лаборатории. Через год Стертевант сделал большое открытие: обнаружил явление сцепления генов.

Морган был одно время президентом Национальной академии наук США (с 1927 по 1931 г.), стал и почетным членом Академии наук СССР (1931) что, однако, не помешало в послевоенные годы Трофиму Денисовичу Лысенко объявить Моргана метафизиком и идеалистом [Глазко, 2011]. В 1933 г. за свои открытия Морган был удостоен Нобелевской премии. Первые работы Томаса Моргана и его школы по изучению факторов наследственности у плодовой мушки дрозофилы были опубликованы в 1910–1912 гг. Впервые была сформирована теория линейного расположения наследственных факторов в хромосомах, создана хромосомная теория наследственности.

Томас Хант Морган прослеживает наследование красных или белых глаз у самок и самцов дрозофилы и показывает, что рецессивный признак «белоглазие» каким-то образом сцеплен, т.е. передается вместе с X-хромосомой. Так вошел в жизнь термин «анализ сцеплений». Морган открыл также, что сцепление бывает неполным.

Хромосомная теория наследственности Моргана, укрепившаяся в своих основах после открытия генетической роли нуклеиновых кислот, отвечает всем требованиям развитой научной теории (Любищев, 1982):

- а) на основе небольшого числа постулатов она объединила множество фактов из разных областей биологии: генетики, цитологии, эмбриологии, биохимии, популяционной генетики, селекции;
- б) позволяет управлять явлениями и строить прогнозы;
- в) дает возможность строгого количественного описания явлений;
- г) в ней оговорены четкие границы ее применимости.

В выборе объекта исследований Моргану помогли финансовые трудности. Дрозофила стала для Моргана величайшей удачей. Мушки оказались отличным объектом для генетических исследований. От момента откладки яиц до того момента, когда из личинок появлялись взрослые мухи, способные к размножению, проходило всего 10 дней. Позже оказалось, что их геном также предельно прост — всего четыре аутосомы. Но даже с таким отличным объектом Моргану потребовалось два года проб и ошибок, пока его помощникам не удалось обнаружить первый мутантный экземпляр. Вторая мутация также была обнаружена у самца — мушка с укороченными крыльями. Позже в лаборатории Моргана были получены еще 26 мутаций, причем все у мушек-самцов. Поэтому Морган предположил, что все эти мутации сцеплены с полом. Действительно, позже оказалось, что все эти мутации происходят на маленькой хромосоме, которая устанавливает у мушек половой диморфизм.

Дрозофил легко разводить в пробирках на засеянных дрожжевыми клетками растертых бананах или просто манной каше с изюмом. При температуре 25 °С новое поколение мух появляется на свет через 10–12 дней. Одна самка может дать более 1000 потомков. Поэтому только за год уда-

ется получить 30–35 поколений и изучить сотни тысяч особей. Богатейшие возможности для тех, кто прослеживает длинные наследственные линии!

Исследуя в микроскопе ядра клеток дрозофилы, Морган и его ученики установили фундаментальные факты. Особые ядерные тельца — хромосомы (от греч. *chroma* — краска и *soma* — тело), названные так вследствие их способности сильно окрашиваться определенными красками, что делает хромосомы хорошо видимыми и различимыми, облегчает их изучение, меняли свою структуру, форму, состав вместе с изменениями облика самой дрозофилы. Следовательно?.. Гены должны локализоваться именно в хромосомах, сделали вывод в лаборатории Морганна.

По мере того как описывались все новые мутации и накапливались результаты скрещивания мушек с разными признаками, Морган стал замечать странные особенности наследственности. Если у мушки было несколько измененных признаков, то далеко не всегда оба признака передавались по наследству. Иногда происходило расхождение мутаций. Из работ цитологов Морган знал, что во время мейоза (процесса образования половых клеток), перед тем как хромосомы разойдутся к полюсам и произойдет деление клетки, между парными хромосомами происходит обмен гомологичными участками — кроссинговер. Морган предположил, что кроссинговер может объяснить факт расхождения признаков у потомков. Измененные гены, которые сначала находились на одной хромосоме, оказывались на разных хромосомах. Исследователи предположили, что расхождение признаков происходит тем чаще, чем дальше на хромосоме находятся носители этих признаков. С помощью статистических методов один из студентов Морганна отметил наиболее вероятные места мутаций на хромосоме. Чем ближе находились друг к другу точки на хромосоме, тем чаще они наследовались вместе. Такие признаки назывались *сцепленными*. Было не только очевидно, что наследуемые признаки связаны с хромосомами, но и стало возможным установить их место на хромосоме. Оказалось, что носители признаков на хромосоме размещаются линейно один за другим точно так же, как бусы, нанизанные на нитку.

Наконец, в 1910 г. Г. Клебс сообщил об опыте искусственного получения мутаций под воздействием внешних факторов, т.е. было показано, что ген есть реальная материальная частица, раз его можно искусственно поломать. В 1911–1920 гг. С.Г. Навашин открыл спутничные хромосомы у капского гиацинта и описал основные типы хромосом растений: метацентрические, субметацентрические, акроцентрические, спутниковые. Это легло в основу современной классификации морфологии хромосом. В 1914 г. Дж. Шеллом предложен термин «гетерозис». В 1916 г. Г. Мёллером открыто явление интерференции. Описаны Г. Винклером первые полиплоиды (томаты, паслен). К. Бриджес открыл явление нерасхождения

хромосом, в результате которого обе X-хромосомы отходят либо в яйцеклетку (образуется гамета XX) или в направительное тело (гамета O). По инициативе Н.К. Кольцова организован Институт экспериментальной биологии, где начаты исследования по генетике. Н.И. Вавилов защитил магистерскую диссертацию «История цветка в растительном царстве», его избирают профессором Саратовских высших сельскохозяйственных курсов. Ю.А. Филипченко (1882–1930), основатель и заведующий первой кафедрой генетики в 1919 г., защитил первую в России докторскую диссертацию по генетике и биометрии.

Второй этап развития генетики — классическая генетика.

В 1922 г. вышла монография Л.С. Берга «Номогенез или эволюция на основе закономерностей». Впервые в мире Г.А. Левитским были начаты исследования морфологии хромосом. Цитологи Всероссийского института растениеводства установили хромосомные числа для овса, ржи, льна, свеклы, люпина, культурного картофеля, развернули глубокие исследования по кариосистематике злаков. В 1923 г. открыты явления торможения проявления генетической информации Н.В. Тимофеевым-Ресовским при изучении связи между генотипом и фенотипом у дикой популяции *Drosophila funebris*. Явления торможения (проявления) генетической информации (buffering of genetical information) теперь обозначаются как комплекс фундаментальных генетических явлений, связанных с пенетрантностью и экспрессивностью, т.е. ситуации, при которых один и тот же ген и мутации в нем могут количественно по-разному проявляться в пределах одной популяции (пенетрантность), или пределах одной особи (экспрессивность) как в зависимости от генетического фона, так и от того, как условия среды влияют на этот фон, приводя или к усилению действия мутации (гена), или к ее торможению (ослаблению), или к проявлению скрытых (криптических) геновариаций. В 1924 г. С.С. Четвериков опубликовал данные о том, что характер проявления любого экспрессируемого гена и даже нейтральной мутации зависит от места ее расположения в геноме и от генотипической среды. С.С. Четвериков начал читать курс генетики в МГУ. Вышла книга Д.Н. Соболева «Начало исторической биогенетики». Чарлз Элтон предположил, что колебания численности могут вести к распространению в популяциях нейтральных признаков. А.И. Опарин моделирует и воссоздаёт картины начальных этапов биогенеза и формулирует гипотезу о происхождении жизни на Земле. Ф.Г. Добржанский в СССР, а затем в США исследует феногеографию окраски ряда видов кокцинелл, в первую очередь у *Harmonia axylidis*. Г.А. Левитский издает книгу «Материальные основы наследственности» — один из первых отечественных учебников по генетике. В 1925 г. А. Стертевант описал мозаичный эффект положения гена, существование зависимости экспрессии гена от специфического окружения. А. Лотки разработал одну

из первых математических моделей системы «паразит — хозяин», математик В. Вольтерра ознакомился с материалами по колебаниям численности различных видов рыб в Адриатическом море. Вольтерра доказал, что такие колебания численности могут быть вызваны взаимодействием в системе «хищник — жертва». С.С. Четвериков, Б.Л. Астауров, Н.К. Белиев, С.М. Гершензон, П.Ф. Рокицкий, Д.Д. Ромашов в результате экспериментальной проверки природных популяций дрозофилы нашли в них большое число различных мутаций и показали, что каждый ген с той или иной частотой спонтанно переходит в мутантное состояние.

В 1927 г. Ю.А. Филипченко предложил разделить эволюцию на два процесса: микроэволюцию и макроэволюцию; по его мнению, роды про-иошли иным путем, чем виды. Опубликована работа В.Н. Сукачева «К вопросу о борьбе за существование между биотипами одного вида». В ней доказана селективная ценность мелких наследственных индивидуальных различий, показано, что с изменением плотности популяций и условий конкуренции изменяется и направление отбора. В 1928 г. вышла работа Ю.А. Филипченко по наследованию количественных признаков у пшениц, разработан подход к пониманию плейотропного действия гена. Н.К. Кольцов выдвинул гипотезу молекулярной организации гена и его воспроизводства (матричный принцип). Опубликованы работы Фредерико Гриффита — первые по генетической трансформации микроорганизмов. В 1929 г. издан классический учебник по генетике (Ю.А. Филипченко). Н.П. Дубинин и А.С. Серебровский показывают сложную организацию гена и его делимость (в исследованиях гена *scute* у дрозофилы). Опубликована статья А.С. Серебровского «Опыт качественной характеристики эволюционного процесса». Дж. Гаммерлинг строгими генетическими опытами (пересадка ядер, хромосом, реципрокное скрещивание) доказал главенствующую роль ядра в определении направления развития и морфогенеза.

В 1931 г. М. Крен и Дж. Лоуренс выдвинули гипотезу о гибридном происхождении сливы. А. Мюнтцинг впервые осуществил *ресинтез* дикорастущего вида пикульника *Galeopsis tetrahit* путем аллополиплоидии из двух диплоидных видов *G. speciosa* и *G. pubescens*. Д.Д. Ромашов в статье «Об условиях “равновесия” в популяции» обратил особое внимание на неприспособительные, инадаптивные процессы в популяциях. В.А. Рыбин совершил экспериментальный синтез сливы путем скрещивания алычи ($2n = 16$) и терна ($2n = 32$) с последующим удвоением количества хромосом. С. Райт опубликовал монографию «Эволюция менделевских популяций». Р. Фишер вместе с Сьюэллом Райтом положили начало синтезу генетики и дарвинизма на Западе (у нас это сделал Четвериков). Дж. Холдейн публикует цикл работ «Математическая теория естественного и искусственного отбора». Г.А. Левицкий разработал гипотезу о прими-

тивности симметричных кариотипов и об эволюции кариотипов в сторону асимметрии. В 1931–1932 гг. Н.П. Дубинин и Д.Д. Ромашев разрабатывают идею генетико-автоматических процессов в популяциях. В 1934 г. Н.К. Кольцов предположил, что гигантские хромосомы слюнных желез насекомых многонитчатые.

В 1935 г. Тимофеев-Ресовский, Циммер и Дельбрюк по приглашению Геттингенской академии естествознания сделали доклад о структуре гена и механизме мутаций, который был затем опубликован в виде небольшой тетради с зеленой обложкой и получил название «Классическая зеленая тетрадь» [Тимофеев-Ресовский, Циммер, Дельбрюк, 1935]. Позже в своих воспоминаниях Н.В. Тимофеев-Ресовский потом писал: «Я лично с 40-х годов больше этим не занимаюсь. Правда, меня многие, особенно там, за рубежом, считают чем-то вроде деда этого направления. Потому что новая, послевоенная редакция его была запущена Дельбрюком, а Дельбрюку соответствующую вещь я заправил в мозги в 30-е годы. Вот с этого, в сущности, пошло все, с этой самой нашей классической, так называемой “зеленой тетрадочки” Геттингенского общества наук. Ну и пусть, значит, дальше развивается на доброе здоровье». В 1935 г. Н.П. Дубинин и Б.Н. Сидоров показали, что при инактивации ген не теряется, а изменяется лишь его состояние.

Хромосомная теория организации материала наследственности стала результатом огромной серии экспериментов (благо, плодовитость дрозофилы это позволяла). Понятно, поначалу моргановские представления многим казались невероятными. Николай Иванович Вавилов (1887–1943), в 1921 г. побывавший в США у Морганя, вспоминал позднее: «В этой лаборатории скептики выслушивались с особым вниманием. Исходя из сложности явлений наследственности и развития, мы полагали в то время, что строгое расположение генов в хромосомах в виде бус в линейном порядке мало вероятно. Такое представление казалось нам механистическим. Подобно другим, мы высказывали наши сомнения Моргану. Он ответил нам, что он сам как эмбриолог вначале был большим скептиком, но колоссальное количество фактов наиболее просто объяснялось и объясняется линейным расположением генов. Он предложил нам посвятить несколько дней конкретному просмотру опытных материалов, на которых построена линейная гипотеза, добавив при этом, что охотно согласится с любой другой гипотезой, удовлетворительно объясняющей все наблюдаемые факты».

Здесь необходимо подчеркнуть роль Н.К. Кольцова. Он выдвинул гипотезу молекулярной организации гена (1928). Иходным толчком к постановке проблемы химической природы материала наследственности для Кольцова послужил эпизод из его студенческой биографии. В 1893 г. в Москве, в зале Дворянского собрания (после революции — Колонный

на Доме Союзов) проходил Съезд естествоиспытателей и врачей. На этом съезде столкнулись две противоположные точки зрения на сложность устройства клетки и материала наследственности. Профессор-зоолог М. А. Мензбир (будущий академик) считал механизм наследственности очень сложным и включал в него всю клетку, ядро, протоплазму, хромосомы, в хромосомах — дискретные факторы наследственности и т. д. В этом случае сложность хромосом должна быть сопоставима со сложностью организма. Противоположную точку зрения сформулировал профессор-химик А. А. Колли. Он сопоставил размер головки сперматозоида (30 мкм у человека), через который передается половина всей наследственной информации к потомку, с известными тогда размерами молекулы белка. Получилось, что в этом объеме могло находиться лишь небольшое число больших молекул, немного превышающее число самих хромосом.

В конечном итоге все это воплотилось в хромосомную теорию организации генетического материала, в которой хромосома есть реальность, и поэтому важны ее структурно функциональные характеристики как целого. Нуклеопротеидная нить хромосомы (хроматин) имеет сложную иерархическую организацию. Установлены четыре уровня упаковки нити ДНК с белками в нуклеопротеидные структуры, которые в световом микроскопе видны как «хромосомы». Принято считать, что хромосомы высших организмов подразделены на структурно-функциональные участки, или домены, которые упакованы в виде петель и прикреплены своими основаниями к ядерному скелету (матриксу). Обнаружены десятки ДНК-связывающих белков, которые образуют сложные комплексы и, присоединяясь к специальным участкам хромосом, регулируют степень спирализации и деспирализации данного домена, тем самым меняя степень транскрипционной активности окрестных генов. Достаточно какому-либо гену в случае хромосомной перестройки оказаться рядом с участком, к которому присоединяется белок-репрессор, и активность этого гена понижается. Такие изменения не вписывались в моргановскую парадигму, в дальнейшем они получили название *эпигенетической наследственности*. Теперь сфера исследований эпигенетических изменений резко расширилась.

Тимофеев-Ресовский (1900–1981) внес огромный вклад в развитие разных направлений биологических наук, он был одним из создателей радиационной генетики и молекулярной биологии. Он закончил Московский государственный университет (1925), был учеником известных русских генетиков Николая Константиновича Кольцова (1872–1940) и Сергея Сергеевича Четверикова (1880–1959). Участник (1921–1925) известного в научных кругах Москвы семинара, который в шутку вначале прозвали «Соор» (от слов «совместное орание»), а затем в «Дрозсоор» (после появления главного экспериментального объекта генетиков — мушки дро-

зофилы). В 1925 г. директор Института экспериментальной биологии член-корреспондент АН СССР Н.К. Кольцов на запрос наркома здравоохранения Николая Александровича Семашко послать кого-то из советских генетиков («по возможности молодого, но все-таки более или менее сформировавшегося...») для организации генетической работы в Германии — приглашало Общество Вильгельма по содействию наукам — назвал имя Тимофеева-Ресовского. Так этот русский ученый (он хорошо владел немецким языком) вместе со своей супругой Еленой Александровной оказался в Германии, где вынужден был оставаться вплоть до 1945 г. В Институте мозга в Берлин-Бухе исследователь прошел путь от научного сотрудника до руководителя отдела генетики и биофизики.

Тимофеев-Ресовский вместе с немецкими физиками К. Циммерманом и М. Дельбрюком подвергали дрозофил действию строго определенных доз ионизирующего излучения и регистрировали число мутаций — наследственных изменений. В опытах лишь малая часть квантов излучения производила мутации. Таким образом, Тимофеевым-Ресовским и его немецкими коллегами было показано, что, подобно ядру в атоме, гены занимают в клетке лишь ее ничтожнейшую часть. Исследователи, рассматривая генетические структуры как «мишени», смогли примерно оценить и «объем» одного гена: что-то около 3000 атомов. С этой работы и началась молекулярная генетика. При анализе данных исследования Тимофеев-Ресовский любил повторять: «Нам деньги платят не за то, чтобы усложнять, а чтобы упрощать»; считал, что «науку нельзя делать со звериной серьезностью».

Тимофеев-Ресовский после окончания Второй мировой войны как «невозвращенец» был осужден по 58-й статье («измена Родине») и приговорен к десятилетнему заключению. Могли, конечно, и расстрелять, но грамотного народа — «царских профессоров» — после сталинского террора осталось маловато. А профессора из института красной профессуры в целом не соответствовали требованиям науки, тем более, что в стране начались работы по созданию атомной бомбы и нужны были специалисты в области радиационной биологии. Известно, что, находясь в 1945 г. в Бутырской тюрьме, Тимофеев-Ресовский, невзирая ни на что, проводил научные семинары, в том числе о мутационном процессе, слушателем которого в числе других заключенных был Александр Исаевич Солженицын. Имя Тимофеева-Ресовского, автора многих капитальнейших трудов по генетике, стало широко известно лишь после его смерти и публикации повести ленинградского писателя Даниила Гранина «Зубр».

Идеи Тимофеева-Ресовского и его немецких соратников о природе вещества наследственности вдохновили одного из создателей квантовой механики, лауреата Нобелевской премии, австрийца Эрвина Шрёдингера

(1944, 1961) написать книгу «Что такое жизнь? С точки зрения физики» (вышла в Великобритании в 1944 г. несмотря на войну) [Глазко 2011].

В книге, ставшей одним из манифестов биологии XX в., он писал: «Средство, при помощи которого организм поддерживает себя постоянно на достаточно высоком уровне упорядоченности (равно на достаточно низком уровне энтропии), в действительности состоит в непрерывном привлечении упорядоченности из окружающей его среды». Таким образом, смысл обмена веществ в организме состоит в замене веществ с низким химическим потенциалом на вещества с высоким химическим потенциалом и использовании энергии извне для повышения химического потенциала биомолекул. Особенность биологических систем состоит также в том, что они за счет ферментативных систем способны кинетически контролировать стремление системы к термодинамическому равновесию. Открытая система не может быть равновесной, потому что ее сохранение требует непрерывного поступления из внешней среды энергии или вещества, богатого энергией. Возрастание неравновесности в результате поступления вещества или энергии приводит к разрушению взаимосвязи между старыми элементами системы и появлению новых связей и новых структур. Эти процессы получили название самоорганизации, а наука, изучающая эти процессы, названа синергетикой. В книге в изящной форме, в лучших традициях теоретической физики Шрёдингер высказал немало ценных соображений о генах. Во-первых, он указал физикам, что перед ними стоит фундаментальная проблема, высочайшая цель, достойная их усилий. Во-вторых, он предположил, что особые «генные молекулы», видимо, представляют собой «аперриодический кристалл» (генные бусинки Томаса Моргана), состоящий из совокупности нескольких повторяющихся элементов, точная последовательность которых, подобно азбуке Морзе, и составляет *генетический код*.

Шрёдингер писал: «Хромосомы... содержат в виде своего рода шифровального кода весь “план” будущего индивидуума и его функционирования в зрелом состоянии. Каждый полный набор хромосом содержит весь шифр». «Но термин шифровальный код, конечно, слишком узок. Хромосомные структуры служат в то же время и инструментом, осуществляющим развитие, которое они же предвещают. Они являются одновременно и архитектором, и строителем». «Как такая крошечная частичка вещества — ядро оплодотворенного яйца — может вместить сложный шифровальный код, включающий в себя все будущее развитие организма? Хорошо упорядоченная ассоциация атомов, наделенная достаточной устойчивостью для длительного хранения своей упорядоченности, представляется единственно мыслимой материальной структурой, в которой разнообразие возможных (“изомерных”) комбинаций достаточно велико, чтобы заключать в себе сложную систему детерминации в пределах ми-

нимального пространства». Иначе говоря, биологическая сущность гена и хромосомы в том, что они представляют собой молекулярные «записи» сложной структуры признаков, онтогенеза, организма в целом. Средства записи — комбинаторные варианты больших молекул-генов. Таким образом, Шрёдингер сделал шаг к формулированию информационно-кибернетического подхода в генетике. Конечно, этот первый шаг еще был неконкретным (как именно?) и достаточно фигуральным, метафоричным. Но из него в дальнейшем вырос подход к проблеме кодирования генетической информации.

Наконец, Шрёдингер делает последний шаг в своей концепции: «Из общей картины наследственного вещества, нарисованной Дельбрюком, следует, что деятельность живой материи, хотя и основана на законах физики, установленных к настоящему времени, но, по-видимому, подчиняется до сих пор неизвестным другим законам физики, которые, однако, как только они будут открыты, должны составить такую же неотъемлемую часть этой науки, как и первые». «Жизнь — это упорядоченное и закономерное поведение материи, основанное не только на одной тенденции переходить от упорядоченности к неупорядоченности, но и частично на существовании упорядоченности, которая поддерживается все время».

Призывы Шрёдингера были услышаны. Вскоре после окончания Второй мировой войны началась совершенно новая эпоха генетических исследований. Тон в ней теперь задавали физики. В классической генетике ген мыслился абстрактным и неделимым, романтически же настроенные физики захотели «расщепить» ген, словно атом, докопаться до его генной сути, до физико-химической сердцевины. Целое поколение молодых физиков замерло от искушения. По стечению обстоятельств это совпало с окончанием войны и возвращением в науку большого числа молодых физиков. Многие из них в результате выбрали путь в биологию и усвоили идею «шифровального кода» и гена-молекулы. Среди тех, на чьи судьбы повлияли идеи Шрёдингера, были Ф. Крик, Дж. Уотсон, М. Уилкинс, Г. Стент, Дж. Ледерберг и сотни других. Имена Н.В. Тимофеева-Ресовского и М. Дельбрюка стали широко известны англоязычному миру науки. У нас книга впервые была переведена и издана в 1947 г., но вскоре запрещена вместе со всей генетикой в годы лысенковщины. Только после 1955 г. идеи Шрёдингера стали публично обсуждаться в советской физической и биологической науке. Однако за это время наука уже заметно ушла вперед и на повестку дня встали следующие проблемы: генетический код, генетические процессы, молекулярная кибернетика и т.д., в решении которых советские ученые уже смогли принять посильное участие.

Интересен, однако, дальнейший ход событий. Через 20 лет, подводя итоги развития молекулярной биологии и генетики, Г. Стент отметил [Stent, 1966; Стент, Келиндер, 1981]: «Вторжение этих людей в генетику

и родственные ей области биологии в 40-х годах произвело в этой науке революцию, которая, когда пыль рассеялась, оставила в качестве своего наследия молекулярную биологию... Увы, физики были обмануты в своих надеждах. Никаких "других законов физики" на этом пути не обнаружилось... Чтобы понять, как функционирует наследственное вещество, нужно, по-видимому, лишь понимать, как разрываются и образуются подородные связи». На этом пути не подтвердились многие ранние идеи М. Дельбрюка и Э. Шрёдингера [Timofeeff-Ressovsky et al., 1935; Шрёдингер, 1972].

Таким образом, работы Н.В. Тимофеева-Ресовского и М. Дельбрюка в Германии породили квантовую модель гена-молекулы. В свою очередь, «модель трех» и Зеленая тетрадка произвели большое впечатление на выдающегося австрийского физика-теоретика Э. Шрёдингера.

В 1953 г. будущие лауреаты Нобелевской премии Джеймс Уотсон и Френсис Крик описывают химическую структуру ДНК в виде двойной спирали и публикуют свою статью в Nature. Так в генных исканиях открылась новая эра. В центр поисков, наконец, была поставлена открытая много лет назад Фридрихом Мишером молекула ДНК. Авторами упомянутой статьи были тогда мало кому известные ученые — англичанин Фрэнсис Харри Крик и американец Джеймс Дьюи Уотсон. В Кавендишской лаборатории Кембриджского университета Джеймс Дьюи Уотсон стал соавтором выдающегося открытия, которое потом сделало его почетным членом многих иностранных академий, консультантом президента США по науке, дало ему широкие возможности для организации исследований по молекулярной генетике.

Уотсон родился в Чикаго в 1928 г. Интерес к биологии привил ему отец: он дарил сыну книжки о птицах, брал с собой на прогулки за город. Из чтения в публичной библиотеке разных энциклопедий Уотсон узнал слово «эволюция», стал задумываться над тем, что же такое «живые существа» и откуда они взялись. Окончил (1947) Чикагский университет (поступил в него в 15 лет!), в 22 года стал доктором философии (научная степень, нечто среднее между российскими степенями доктора и кандидата наук) по зоологии. Но вовсе не зоология заставила Уотсона покинуть родной Чикаго и переехать в Англию, в тихий научный городок Кембридж. До этого учителями Уотсона были выдающиеся генетики — Герман Меллер и Макс Дельбрюк. («Сам Дельбрюк, — вспоминал впоследствии Уотсон, — увлекся биологией под влиянием Тимофеева-Ресовского. И если Лурия и Дельбрюк — мои отцы, то Тимофеев-Ресовский мой дедушка в ней».) Еще с университетской поры Уотсоном владело желание познать, что же такое ген. Эта жажда и привела его осенью 1951 г в Кембриджский университет.

Формально Дж. Уотсон получил стипендию для изучения методов рентгеноструктурного анализа белков в группе М. Перуца в Кавендиш-

ской лаборатории Кембриджского университета. Если, как это следовало из опытов Освальда Эвери, гены действительно заключены в молекуле ДНК, то необходимо детально изучить ее структуру. Подобные знания мог дать достаточно развитый к тому времени усилиями физиков рентгеноструктурный анализ. Направив узкий пучок рентгеновских лучей на кристалл, удастся зарегистрировать на фотопластинке за кристаллом картину, состоящую из большого числа закономерно расположенных пятен. Такая рентгенограмма позволяет установить химическую природу данного кристалла и расположение в нем атомов.

Вот такую кристаллографическую методику и попытались физики приспособить для изучения ДНК, этого, по словам Шрёдингера, «апериодического кристалла», и других молекул живой материи, анализируя, расшифровывая те рентгенограммы, которые давало облучение ДНК, «болтая с биологами», выпытывая у них необходимые для работы генные знания [Глазко, Чешко, 2007].

Джеймс Дьюи Уотсон встретил физика Френсиса Крика — политеоретика, полуэкспериментатора. Крик родился в 1916 г., физик, степень бакалавра получил еще в 1937 г. Во время войны работал в Морском министерстве Великобритании, создавал радарные системы, средства защиты от немецких мин. В 1946 г. под влиянием книги Э. Шрёдингера и лекции Л. Полинга он решил заняться приложением физики в биологии. С 1947 г. начал работать в Кембридже, интересовался строением биологических полимеров. Были тогда люди, которые сомневались в том, что научная удача еще улыбнется Крику. Физик Фримен Дайсон говорил, что ему жаль способного ученого, который упустил время, занимаясь военной наукой. А разница между военной наукой, добавлял Дайсон, и наукой вообще такая же, как между военной музыкой и музыкой, и что вряд ли выйдет что-либо путное из нового увлечения Крика биологией.

В 1951 г. Крик работал в группе М. Перуца над теорией дифракции рентгеновских лучей на белках. Дж. Уотсон и Ф. Крик оказались в одной комнате. Позже Уотсон писал: «Но после разговоров с Френсисом моя судьба была решена. Мы быстро поняли, что в биологии мы намереваемся идти одинаковым путем. Центральной проблемой биологии был ген и контролируемый им метаболизм. Главной задачей было понять репликацию гена и путь, которым гены контролируют синтез белков. Было очевидно, что приступить к решению этих проблем можно лишь после того, как станет ясной структура гена. А это значило выяснение структуры ДНК». «В лаборатории Макса (Перуца) нашелся человек, который знал, что ДНК важнее, чем белки, — это было настоящей удачей» [Уотсон, 1969]. «Ничто не мешало мне разговаривать с Френсисом по меньшей мере по несколько часов в день» [Уотсон, 1969]. Вот как историки науки Ф. Португал и Дж. Коэн характеризуют этот научный тан-

дем [Portugal, Cohen, 1979]: «Контраст между Уотсоном и Криком мог показаться очень большим... Крик был крупным и гениальным, Уотсон — мощим и угловатым. Но они имели много общего».

Манера Уотсона высказываться напрямик о том, что его волнует, помогла ему нажать не только множество врагов, но и друзей. В Кембридже он получил прозвище «честный Джим». В 60-е гг. XX в. Уотсон выступил с требованием прекратить все исследования, ведущиеся в США в области бактериологического оружия, и превратить военно-бактериологический центр Форт-Детрик в мирную лабораторию.

А еще Уотсона называли «счастливчик Джим». И не только потому, что его научная судьба сложилась удивительно счастливо: ранняя защита, лауреат Нобелевской премии в 34 года и многое другое. Счастливая случайность — встреча в Кембридже с гениальным физиком Фрэнсисом Криком. Атмосфера научных исканий Уотсона, Крика и окружающих их людей нашла отражение в нашумевшей книге Джеймса Уотсона «Двойная спираль», где подробно описаны все перипетии истории открытия структуры молекулы ДНК. Эта книга неожиданно стала бестселлером наряду с последними произведениями Агапы Кристи и Жоржа Сименона. Книга переведена на множество языков, прославилась их имена гораздо больше, к сожалению, чем это сделали все вместе взятые их научные труды.

В «Двойной спирали» Уотсон утверждает, что бросить физику и заняться биологией Крика побудила книга Эрвина Шрёдингера «Что такое жизнь? Физический аспект живой клетки». Особенно та ее часть, где Шрёдингер излагал свои соображения о генах. «В то время Крику было уже тридцать пять лет, — пишет Уотсон, — и тем не менее он был почти совершенно безвестен. Хотя некоторые из его ближайших коллег понимали силу его быстро схватывающего и пронизательного ума и часто обращались к нему за советом, его недооценивали и большинство считало, что он слишком говорлив...». Обладая несомненным талантом юмориста, Уотсон дает Крику такие характеристики: «Я никогда не видел, чтобы Фрэнсис Крик держался скромно. Может быть, где-нибудь такое с ним и бывает. Но мне при этом быть не приходилось. И дело вовсе не в его нынешней славе. Хотя обыкновенно он был вежлив и считался с коллегами, которые никак не могут понять подлинного смысла своих собственных последних экспериментов, но все же он никогда не скрывал от них этого факта. В результате все испытывали перед Криком тайный, но несомненный страх, особенно те, кому только еще предстояло утвердить свою репутацию. Быстрота, с которой он схватывал открытые ими факты и пытался внести в них ясность, часто заставляла сжиматься сердца его приятелей, опасавшихся, что вот-вот он добьется успеха и раскроет перед всем миром скудоумие своих коллег».

Знаменитый американский изобретатель Томас Алва Эдисон (1847–1932) прямо указывал: «Гений — это на 99 процентов труд до изнеможения и на один процент игра воображения». Практика Уотсона и Крика, их путь к открытию опровергают подобные утверждения. После прочтения книги «Двойная спираль» остается странное впечатление. Они вроде бы не корпели с утра до ночи над трудными экспериментами или же изнурительными расчетами. Но как союз этих людей привел к едва ли не самому важному из открытий XX в.? Дело в том, что в основе поисков Уотсона и Крика лежали очень простые соображения. Ученые понимали, по какой дорожке им следует идти, каких ориентиров придерживаться. Все это они прочитали у Лайнуса Карла Полинга (1901–1994). Полинг не делился с Уотсоном и Криком никакими секретами, он был их потенциальным соперником. Просто Полинг, позднее удостоенный сразу двух Нобелевских премий — и как выдающийся химик (1954), и как известный борец за мир (1962), тогда, в 1951 г., только что разгадал структуру, устройство главного «каркаса» белков. Основным компонентом их структуры стала а-спираль. Но главным ободряющим, вдохновляющим обстоятельством для Уотсона и Крика стало даже не это, а то, как Полинг этого добился. Вот что по этому поводу писал в «Двойной спирали» Уотсон: «Скоро я усвоил, что успех Полинга был делом простого здравого смысла, а не результатом каких-то сложных математических выкладок. В его рассуждениях иногда попадались уравнения, но в большинстве случаев и их можно было заменить словами. Ключом к удаче Лайнуса послужило его доверие к простым законам структурной химии, а-спираль была открыта простым созерцанием рентгенограмм; главный фокус состоял в том, чтобы задать себе вопрос: а какие же атомы рядом с какими предпочитают сидеть? Основными рабочими инструментами были не бумага и карандаш, а набор молекулярных моделей, похожий на детский конструктор».

Будущие лауреаты пошли похожим путем. Со стороны могло показаться, что Уотсон и Крик действительно занимаются какой-то детской игрой. Или... разгадыванием объемного кроссворда, в котором на «вертикалях» и «горизонталях» было очень много незаполненных клеток. Надо было только угадать, как природа соединила в цепочки четыре основных компонента. Химики давно выделили их из ДНК, установили их состав) — четыре азотистых основания: аденин (сокращенно А), гуанин (Г), цитозин (Ц) и тимин (Т). Осталось только понять, как связаны они друг с другом двумя «склеивающими» элементами — сахарной и фосфатной группами.

Составляющие компоненты успеха

Уотсон и Крик стремились так расположить соединенные проволочками (они условно обозначали химические связи) шарики-атомы, чтобы

позведенная конструкция соответствовала рентгенограммам ДНК. Их для Уотсона и Крика получал английский физик — он работал рядом в Лондонском Кинге-Колледже, друг Ф. Крика Морис Уилкинс. Уроженец Новой Зеландии, ровесник Крика, специалист по рентгеновской кристаллографии, Уилкинс во время войны был участником совместного американско-английского атомного проекта. Это занятие, признавался Уилкинс, намного снизило его интерес к физике, и в послевоенные годы он переключился на биофизические исследования. Морис Уилкинс и его сотрудник Розалинд Франклин были крупнейшими английскими специалистами по рентгеноструктурному анализу ДНК. Именно их экспериментальные данные были использованы Уотсоном и Криком и положены в обоснование проверки своих моделей.

Существенный компонент в понимание структуры ДНК внес Лайнус Полинг. В 1950 г вместе с Г. Кори они теоретически предсказали существование альфа-спиралей в глобулярных белках. Вот писал Дж. Уотсон [1969]: «Спирали в то время были в центре внимания лаборатории, главным образом из-за альфа-спирали Полинга. ...Через несколько дней после моего [Уотсона] приезда мы уже знали, что нам следует предпринять: пойти по пути Полинга и одержать над ним победу его же оружием». Но и Полинг не дремал. Он так же активно обдумывал и обсуждал варианты молекулярных моделей ДНК.

Крик имел опыт исследования дифракции рентгеновских лучей на спиральных структурах. Это позволяло мгновенно отыскивать признаки спиральности на фотографиях дифракции рентгеновских лучей. Кроме этого, по мнению многих, он обладал великолепной интуицией и логикой. Уже на то время Уотсон и Крик понимали, что ставки очень высоки. Все складывалось таким образом, что речь шла о ключевых объектах биологической организации. В модели Н.К. Кольцова репликация хромосом рисовалась как комплементарное выстраивание сегментов вдоль матрицы. Опыт структурной химии и квантовой физики подсказывал Л. Полингу, что требуются наиболее тесные контакты между взаимодействующими молекулярными поверхностями типа: принцип взаимодействия антиген — антитело, фермент — субстрат и др. Мозговой штурм продолжался 18 месяцев. Он сопровождался довольно сложными личностными отношениями между участниками предприятия. Например, Дж. Уотсон и Ф. Крик встречали решительный отпор со стороны Р. Франклин. Но ее данные по В-форме ДНК дали ключевой импульс для разработки модели.

Даже судьба способствовала Уотсону и Крику. Полинг неоднократно просил прислать ему рентгенограммы дифракции, но М. Уилкинс не торопился. Когда Полинг собрался на конференцию в Лондон, Госдепартамент США не выдал ему визу. Виной тому была активная пацифистская

деятельность Полинга против ядерных испытаний. Известно, что он, помимо Нобелевской премии по химии (1954), впоследствии был также лауреатом двух премий мира — Нобелевской и Ленинской.

В начале 1953 г. Уотсон и Крик познакомились негласно, точнее полулегально, с последними данными Р. Франклин по дифракции рентгеновских лучей на препаратах В-формы ДНК, возникающей при высокой влажности. Они сразу узнали признаки спирали с шагом 34 А и диаметром 20 А. Впоследствии он вспоминал [Уотсон, 1969]: *«И вдруг я заметил, что пара аденин — тимин, соединенная двумя водородными связями, имеет точно такую же форму, как и пара гуанин — цитозин, тоже соединенная по меньшей мере двумя водородными связями. ... Если пурин всегда соединяется водородными связями с пиримидином, то две нерегулярные последовательности оснований прекрасно укладываются регулярно в центре спирали. При этом аденин всегда должен спариваться только с тимином, а гуанин только с цитозином, и правила Чаргаффа, таким образом, неожиданно оказывались следствием двуспиральной структуры ДНК. А главное, такая двойная спираль подсказывала гораздо более приемлемую схему репликации. Последовательности оснований двух переплетенных цепей комплементарны друг другу. ... Поэтому было очень легко представить себе, как одна цепь может стать матрицей для другой».*

В результате этим комбинаторным исканиям наступил конец. Однажды Уотсон и Крик обнаружили, что всем требованиям удовлетворяет модель, представляющая собой двойную спираль, потому так и была названа книга Уотсона. Поиски можно было прекратить. Ученым крупно повезло: они сравнительно быстро попали в точку — трудились, возясь с моделями, всего два года.

Была срочно построена стереомодель двухцепочечной ДНК. Она оказалась правовинтовой спиралью с противоположной ориентацией цепей. «Уже через два дня Морис позвонил нам и сказал, что, как убедились они с Розы (Франклин), рентгенографические данные явно подтверждают существование двойной спирали» [Уотсон, 1969]. Через месяц первая статья о двойной спирали ДНК была опубликована в журнале «Nature» [Watson, Crick, 1953].

Статья начиналась словами: «Мы предлагаем вашему вниманию структуру соли дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). Эта структура имеет некоторые новые свойства, которые представляют значительный биологический интерес».

И модель в виде двойной спирали (все ее детали были описаны в статье, опубликованной в «Nature») тогда, в 1953 г., представлялась не более чем изящной и смелой гипотезой. В ней все требовало проверки. Двойная спираль? А почему не тройная, не четверная?.. Произвольно ли

чередуются в спиральных основных элементах — А, Г, Ц и Т? Или, как думали прежде многие, какие-то их комбинации, скажем АТЦГ, служат основными блоками и генетические послания заключены в формулах типа $(АТЦГ)_n$, где n — неизвестные пока целые числа?.. В самом ли деле молекулы ДНК закручены в спирали? Если да, то какие они, спирали, — левые или правые?..

Последующие детальнейшие проверки в основном подтвердили, а не опровергли их представления. Модель выдержала самые строгие экзамены. Среди экзаменаторов был и обойденный в этой научной гонке главный соперник Уотсона и Крика Лайнус Полинг. А высшей наградой для Уотсона, Крика и Уилкинса стало присуждение всей троице в 1962 г. Нобелевской премии.

Созданная природой молекула ДНК изящна и элегантна. Удалось увидеть то, о чем твердили Мендель, Морган и их последователи. Так был нарисован портрет прежде почти мистического, абстрактного (классическая генетика) понятия «ген».

«Полинг впервые услышал о двойной спирали от Дельбрюка... Полинг, как и Дельбрюк, был сразу же покорен» [Уотсон, 1969]. «Открытие двойной спирали принесло нам не только радость, но и облегчение. Это было невероятно интересно и сразу позволило нам сделать важное предположение о механизме удвоения ДНК» [Уотсон, 1968]. Но это было сделано Кольцовым и Тимофеевым-Ресовским.

Модель Уотсона — Крика была признана быстро и повсеместно благодаря своим неоспоримым достоинствам. Она полностью выдержала испытание временем, разрешила множество трудных проблем. Модель утвердила матричный принцип Кольцова. Двойная цепь способна к точному копированию в один этап путем двух сопряженных матричных процессов. Генетическое разнообразие оказалось возможно свести к вариантам порядка мономеров, как предполагали Н.К. Кольцов, М. Дельбрюк, Э. Шрёдингер и многие другие. Тогда сохранение порядка должно быть основой консервативности наследственности. Изменения порядка мономеров, очевидно, должны были вызывать наследственные изменения, т.е. мутации.

Материальный носитель генетической информации найден — это нуклеиновые кислоты — ДНК и, как стало ясно позже, и РНК (В 1955 г. Х. Френкель-Конрат выдвинул предположение о том, что материальным носителем генов может быть также и РНК). Определен также промежуточный получатель генетической информации — белки. Те и другие имеют ряд общих особенностей: линейные полимеры, построенные из небольшого разнообразия мономеров — нуклеотидов и аминокислот. Имеется и астрономическое разнообразие возможных перестановок.

В 1958 г. Ф. Крик сформулировал принцип как «центральную догму» молекулярной генетики [Crick, 1958]. Вскоре после публикации модели

к анализу присоединился крупнейший физик-теоретик Георгий Антонович Гамов (в английской транскрипции Джордж Энтони Геймов (George Antony Gamov)). В конце 1920-х — начале 1930-х гг. Г.А. Гамов был гордостью молодой советской теоретической физики [Френкель, Чернин, 1989; Гамов, 1994]. Ему было 28 лет, его воспевали поэты [Гамов, 1994].

Однако в 1933 г., выехав на очередной Сольвеевский конгресс за границу, Гамов не дождался продления командировки и не вернулся, став невозвращенцем (в этом большую роль сыграла его жена). Это был большой грех для всех. Рекомендовавших наказали. Самого Гамова отлучили от Академии наук и от Родины и только в 1990 г. посмертно восстановили в Академии. Г.А. Гамову принадлежало много открытий, но два крупнейших открытия — теория α -распада и космологическая теория «горячей Вселенной» — работы нобелевского уровня. Третьим своим основным достижением Гамов считал постановку проблемы генетического кода.

Вот как сам Гамов [1994] описывал этот момент: «Прочитав в Nature в мае 1953 г. статью Уотсона и Крика, которая объясняла, как наследственная информация хранится в молекулах ДНК в форме последовательности четырех видов простых атомных групп, известных как “основания” (аденин, гуанин, тимин и цитозин), я задался вопросом, как эта информация переводится в последовательность двадцати аминокислот, которые образуют молекулы протеина. Простая идея, которая пришла мне в голову, состояла в том, что можно получить 20 из 4 подсчетом числа всех возможных триплетов, образующихся из четырех различных сущностей. Возьмем, например, колоду игральные карты (в которой мы обращаем внимание только на масть карты). Сколько триплетов одного и того же вида можно получить?»

Таким образом, Гамов первым сформулировал проблему генетического кода... Кодированные группы символов могут быть только триплетными. Правила соответствия триплетных групп нуклеотидных символов (в дальнейшем названных кодонами) и символов аминокислот образуют генетический код. Главная задача — расшифровать этот код, в том числе объяснить происхождение числа 20, имея в наличии $4^3 = 64$ триплета.

Кстати, «сродство» Гамова к карточной терминологии становится понятным, если учесть некоторые его пояснения и обмолвки. Например, [Гамов, 1994]: «Однажды вечером, когда я зашел в знаменитое Казино да Урка, чтобы посмотреть на карточную игру...». Короче говоря, Гамов — картежник, но в данном случае это способствовало постановке проблемы. Известно ведь, что теория вероятностей возникла из практики карточных игр и рулетки. Кроме того, Гамов попытался использовать для решения проблемы генетического кода методы дешифровки шпионских кодов, в которых имел некоторый опыт.

Следствием статьи Уотсона и Крика 1953 г. было огромное количество открытий в области как организации генетического материала, так и закономерностей его работы. Выявлены принципы молекулярной организации и ферментативные системы основных фундаментальных генетических процессов, обеспечивающих свойства и функции генов: репликацию, транскрипцию, трансляцию, мутирование и репарацию, рекомбинацию, сегрегацию и т.д. Выявлена пунктуация этих единиц и процессов — знаки начала и конца, которые обеспечивают их ограниченную локализацию и управление в геномах. Этим обеспечивается дискретность всех функциональных единиц во всех отношениях.

В результате полностью отпала гипотеза белка как материального носителя генов. Во всех случаях эту роль выполняет ДНК или РНК. Полностью отпала также квантовая гипотеза пространственных изомеров макромолекул-генов М. Дельбрюка. Подтвердилась «гипотеза последовательности» Ф. Крика, постулирующая, что генетическая информация в генах кодируется составом и порядком входящих мономеров.

Установлен принцип гомологичного синапсиса молекул ДНК и хромосом. Фактически синапсис сводится к комплементарности цепей ДНК и участию ферментов-синтетаз. Исторически на первом этапе молекулярной генетики классическое нестрогое представление о системах ген — признак очень сильно сузилось до принципа «один ген — один фермент». Понятие «локус» вместо точки на генетической карте стало означать «непрерывный участок генома». В связи с этим уточнилось понятие аллелизма. Однако с развитием молекулярно-генетической и биохимической техники представление о системах «ген — признак» снова быстро расширилось, охватив самые разнообразные генетические структуры и признаки — биохимические, морфологические, функциональные, транспортные, защитные, регуляторные и др. В результате оказалось, что цистрон имеет дело лишь с ограниченным классом функций и функциональных единиц, которые заведомо не исчерпывают смысловой, кодирующей части генома.

В геномах функциональные единицы всех типов и разделяющие их последовательности построены из одинакового генетического материала: мономеров ДНК или РНК. Значит, гены являются не физическими, а информационными единицами. В этом смысле они напоминают лингвистические единицы информации в текстах естественных языков. Сравнение их свойств показывает, что кодоны более всего напоминают трехбуквенные слова, цистроны — предложения, скриптоны — абзацы текста, а репликоны — единицы воспроизведения. Смысл закодированной информации — это функции и свойства соответствующих продуктов структурных генов или самих функциональных сайтов генома. Таким образом, информационно-лингвистический подход оказался очень продуктивным для

понимания природы генов. В рамках такого подхода понятие «ген» ближе всего к понятию «значащая лингвистическая конструкция», которое охватывает и слог, и слово, и предложение, и абзац, и печатный лист, и т.д. Это — групповое понятие, необходимое как в теоретическом, так и в эвристическом отношении. Экспериментатор-генетик длительное время не знает, какова истинная природа локуса, с которым он работает. В этой ситуации нужен групповой термин, охватывающий широкий круг возможных функциональных единиц [Ратнер, 1990].

P.S.

В 1962 г. Дж. Уотсон, Ф. Крик и М. Уилкинс получили Нобелевскую премию по физиологии и медицине за установление молекулярной структуры нуклеиновых кислот и ее роли в передаче информации в живой материи. К сожалению, Р. Франклин не дождалась такого признания, она умерла в 1958 г. Несомненно, она была достойна этой премии.

ГЕНОМНОЕ РЕДАКТИРОВАНИЕ — ЭВОЛЮЦИЯ, УПРАВЛЯЕМАЯ ЧЕЛОВЕКОМ

Магистральная линия истории, приведшая к генетической инженерии как технологии управления процессом эволюции на значительном временном интервале, практически совпадает с историей молекулярной генетики. Именно тогда, когда человечество создало инструментарий, позволяющий конструировать и создавать новые формы жизни, оно осознало не только собственное могущество, но и опасность его использования в «неразумных» целях. Поэтому этот раздел в значительной мере посвящен истории становления молекулярной генетики — теоретического фундамента современных биотехнологий — технологий, в которых используются живые объекты или продукты их жизнедеятельности.

Известно, что молекула ДНК имеет огромную длину и является крупнейшим из известных нам природных полимеров. Протяженность молекулы наследственности в миллиарды раз больше ее толщины. Скажем, извлеченная из клетки человека ДНК имеет $3 \cdot 10^9$ — три миллиарда — ступеней оснований. Если учесть, что, по расчетам, поперечная длина одного нуклеотида примерно около одного нанометра (10^{-9} метра), то длина ДНК в одной-единственной клетке человека, если ее вытянуть из всех 23 пар хромосом, составляет порядка трех метров. Поскольку в организме взрослого человека находится что-то около 10^{13} клеток, то общая протяженность всех ДНК человека составляет соответственно $3 \cdot 10^{13}$ м, или $3 \cdot 10^{10}$ км! С чем это можно сравнить? Да хотя бы с окружностью земного шара — $4 \cdot 10^4$ км. Или с расстоянием от Земли до Солнца — $1,44 \cdot 10^8$ км!

Смысл этого понятен. Построенная всего лишь из четырех элементов-звеньев (нуклеотиды А, Т, Г и Ц), ДНК, тем не менее, способна разнообразием своих структур закодировать астрономические бездны генетических сведений. В различных последовательностях (всевозможные цепочки типа ГГАТЦТТА...) четыре основных генных знака — А, Т, Г и Ц — могут создать 4^n (где n — миллионы? миллиарды?) количество вариантов.

Величину подобных чисел легко осознать, если принять в расчет, что, по подсчетам физиков, общее количество всех элементарных частиц

во всей нашей как видимой для глаз, так и незримой Вселенной не больше чем 10^{88} , что конечно же гораздо меньше общей возможной длины генетических посланий.

С того момента, как человек перешел от охоты и собирательства к скотоводству и земледелию, он, в сущности, радикально изменил унаследованную от предков стратегию выживания в этом мире. Но вначале человечество располагало возможностями крайне незначительной модификации свойств и признаков уже существующих в природе элементов экологических систем, т.е. биологических видов. И только к концу второго тысячелетия н.э. были созданы технологии, позволяющие создавать и перестраивать экологические системы, конструируя их из элементов (организмов) с заранее заданным набором свойств. Эти технологии и получили название *генетическая инженерия, биотехнология*. (Вероятно, правильнее было бы сказать в данном случае — *генетическая и экологическая инженерия*.)

Ситуация с биотехнологиями сильно напоминает историю с героем пьесы Мольера «Мещанин во дворянстве», который внезапно обнаружил, что всю жизнь говорил прозой и сам об этом не знал... Так и мы достаточно часто забываем, что биотехнологии человечество начало использовать и развивать с момента одомашнивания растений и животных [Глазко, Чешко, 2007].

Представим краткий список наиболее важных событий на пути к биотехнологии.

Эволюцию каждого из растений делят два периода: первый — в дикой (спонтанной) флоре до введения в культуру; второй — после введения в культуру, когда наряду с естественным отбором в качестве мощного фактора эволюции выступает искусственный отбор или, как говорил Н.И. Вавилов, «эволюция руками человека». Первый период значительно продолжительнее второго. С ним связано образование крупных таксонов, семейств, родов и видов. Второй период, начавшийся с оседлости и введения растений в культуру (одомашнивание, доместикация), привел к созданию большого разнообразия жизненных форм и сортов основных культур, к значительному расширению площадей их возделывания. В этот период возникли новые виды, неизвестные в дикой природе. К ним относятся огурец и культивируемые виды тыквы, предки которых в дикой флоре были неизвестны.

Признаки доместикации были разными: окраска, форма и многое другое. Первыми начали культивировать на пороге эпохи шлифованного камня — неолита — злаки. Злаковые произошли 55–75 млн лет назад и в настоящее время занимают 20% территории суши. Три основные сельскохозяйственные культуры однодольных: рис, кукуруза и пшеница — отделились от общего предка 40 млн лет назад. Около 200 тыс. лет назад

произошла гибридизация двух диплоидных видов пшениц с образованием полиплоидных на Среднем Востоке [Gill et al., 2004]. Естественная эволюция диких видов, в связи с их высокой адаптивностью, в культурные привела к тому, что их потомки широко распространились. Эмпирическое применение методического отбора уходит в глубокую древность. Так, китайцы во II тысячелетии до н.э. уже применяли его для выведения декоративных растений.

Рис — одна из наиболее важных сельскохозяйственных культур, которая до сих пор обеспечивает пищевые потребности для питания 3/4 населения Земли. 90% мирового производства риса выращивается в регионе Юго-Восточной Азии. 80% площади под рисом орошается, «засухоустойчивый» рис на остальной площади имеет повышенную потребность в естественных осадках. Селекционные цели следующие: для повышения индекса урожайности и, соответственно, урожаев используются, как и у пшеницы, короткостебельные сорта. Часто востребован более короткий период вегетации, чтобы обеспечить возможность получения 2–3 урожаев в год.

Рис принадлежит к семейству злаковых, в которые входят и пшеница, и кукуруза, и ряд других видов, ключевых в питании человека и сельскохозяйственных видов животных, но отличается от них наименьшим размером генома (рис — 440 мегапар оснований; кукуруза — 2500 м.п.о.; овес — 4900 м.п.о.). К настоящему времени геном риса секвенирован (понуклеотидно прочитан) и стал модельным объектом в изучении генома злаковых, выявления эволюционно консервативных участков их геномов, порядка генов, а также тех генетических систем, которые вовлекались в процессы искусственного отбора при создании сортов злаковых с желательными свойствами для обеспечения пищевых потребностей человека и сельскохозяйственных видов животных. Как считал Вавилов, некоторые виды, в том числе и рис, могли возникнуть одновременно в двух и более центрах.

Дальнейшее развитие цивилизаций человека непосредственно зависело от domestikации зерновых культур, которая прямо способствовала зарождению аграрной цивилизации и появлению оседлых аграрных сообществ среди популяции охотников-собирателей. Осознание этого факта привело к широкому поиску в геномах зерновых генов и районов, которые могли бы быть прямой мишенью domestikации и искусственного отбора. Уровень и состав крахмала в зернах были непосредственной мишенью искусственного отбора как в процессе domestikации, так и межсортовой дифференциации в связи с особенностями агроэкологических и культурных ниш обитания популяций человека. Отбор на характеристики крахмала в зернах был успешен.

Крахмал — главный компонент семян зерновых культур, и его качество являлось мишенью отбора как в процессе domestikации риса, так

и других в последующем искусственном сортообразовании. Сорты риса широко варьируют по относительной пропорции содержания двух типов крахмала эндосперма: неразветвленной амилозы (0–30%) и разветвленного крахмала аминопектина (70–100%). Сорты риса с высоким уровнем амилозы (~20–30%) при приготовлении образуют дискретные, неслипающиеся зерна, тогда как сорта с низким содержанием амилозы при приготовлении дают легко слипающиеся зерна. Высокие уровни амилозы типичны для большинства южных и юго-восточных сортов, принадлежащих к группам сортов *indica* и *tropical japonica*; высокий уровень амилозы характерен также для дикого предкового вида *O. Rufipogon*.

Низкий уровень амилозы (~10–20%) более типичен для сортов Северо-Восточной Азии, где предпочитают более слипающиеся зерна при приготовлении риса, что характерно для группы сортов *temperate japonica*, преобладающей в этом регионе. Сорты, у которых в эндоспермах наблюдаются только следовые количества амилозы (<1%), известны как глютинозный (*sticky* — липкий) рис; такие сорта предпочитают в Лаосе и Северном Таиланде, и они широко используются при приготовлении праздничных кушаний и десертов по всей Азии.

Очевидно, что количество и качество крахмала зависят не только от путей его биосинтеза, но и от ферментов его деградации. К ключевым ферментам деградации крахмала у высших растений относятся амилазы. Обнаружены выраженные отличия в предпочтительной экспрессии разных локусов амилаз у глютинозных и неглютинозных сортов риса: у глютинозных в основном экспрессируется бета-амилаза; у неглютинозных — альфа-амилаза. Описаны ингибиторы амилаз, общие для всех зерновых, экспрессия которых наблюдается только в зернах. Не вызывает сомнений, что перечисленные выше ферменты синтеза крахмала, его деградации и ингибирования деградации в зернах могут быть прямыми мишенями искусственного отбора.

Эксперименты, проводимые человеком над природными объектами для удовлетворения своих нужд, имеют длинную историю. Так, VIII тыс. лет назад были получены новые формы — первые культурные растения и домашние животные, в это же время начинается возделывание картофеля. VI тыс. до н.э. человек использует природную генетическую модификацию, создавшую мягкую пшеницу, которую человек вводит в культуру. II тыс. до н.э. начинается использование определенных штаммов дрожжей для получения вина, пива, дрожжевого хлеба и кефира. В 500 до н.э. появляется первый антибиотик (соевый творог), который применяют для лечения ожогов (Китай), в 100 г. н.э. в Китае используют первый инсектицид [Глазко, 2006]. В 1590 г. изобретен микроскоп и человек получает возможность исследовать мир в микронном масштабе, в 1663 г. Р. Гук открывает клеточное строение эукариот, в 1675 г. происхо-

лит открытие бактерий (А. Левенгук), в 1700-е гг. натуралисты идентифицируют растения-гибриды. Т. Шванн в 1835–1855 гг. разрабатывает клеточную теорию строения организмов, в которой утверждает, что «любая клетка происходит от клетки». Л. Пастер в 1857 г. открывает бактериальную природу брожения (Л. Пастер) и закладывает основы микробиологии. В 1859 г. опубликована теория эволюции (Ч. Дарвин).

В 1861 г. Луи Пастер разрабатывает технологию пастеризации, в 1865 г. Грегор Мендель, отец современной генетики, экспериментирует с бобовыми растениями и приходит к выводу, что существуют неизвестные на тот момент частицы, позднее получившие название «гены», которые передают особенности проявления признаков от поколения к поколению.

Другой важный этап для нашего понимания природы материала наследственности начался с работы Фридриха Мишера, который в 1869 г. открыл нуклеиновые кислоты; это был момент обнаружения *молекул материала наследственности*.

Ф. Мишер (1844–1895), швейцарский биохимик, прожил недолгую жизнь. Окончил университет в Базеле, затем работал в университете южногерманского города Тюбингена, на кафедре Эрнста Феликса Иммануэля Гоппе Зейлера (1825–1895), одного из основоположников современной биохимии, наставника многих известных ученых, в том числе и русских: Сеченова, Захарьина, Боткина, Дьяконова, Манассеина. Его лаборатория размещалась в древнем замке, возвышавшемся над рекой Неккар. Мишер любил рассказывать своим студентам на лекциях о том, как узкие окна и темные своды его рабочей комнаты напоминали ему обстановку лабораторий средневековых алхимиков. Он обрабатывал клетки крови — лейкоциты — ферментом желудочного сока, разрушающим белки. Клетки «разваливались», что можно было наблюдать в микроскоп, но их ядра оставались невредимыми. Мишер выделил содержащееся в ядрах неизвестное (не белковой природы) вещество с необычайно большим содержанием в нем фосфора и азота и назвал его «*нуклеином*», т.е. «ядерным» (от лат. *nucleus* — ядро). Изучению нуклеиновых кислот Мишер посвятил оставшуюся часть жизни. Он был предельно предан науке, почти не отдыхал и мало уделял времени семье. Известно, что он даже опоздал в церковь к венчанию, так как не мог прервать очередной опыт. Для получения хороших результатов он считал, что нуклеины следует выделять при низких температурах; поэтому проводил анализы осенью и зимой, иногда оставаясь в неотопляемом помещении с пяти утра и до поздней ночи. Не удивительно, что здоровье исследователя было плохое. Он умер в санатории «Турбан» в Давосе не то от воспаления легких, не то от быстротечной формы туберкулеза. Лишь в 1897 г. его друзья и близкие, разобравшись в кипах лабораторных тетрадей, черновиков, записей, сделанных в спешке, в перерывах между опытами и лекциями, которые он читал в Базельском

университете, выпустили в Лейпциге в свет книгу, озаглавленную «Работы Ф. Мишера по гистохимии и физиологии».

Историкам науке неизвестно, сознавал ли Фридрих Мишер, как Мендель, всю значимость своего открытия или же его тщательнейший научный поиск просто следствие его национального характера — прилежания и педантичности. Известно одно: нуклеин оставался его одной всепоглощающей страстью. Но в одном из писем Мишер высказал гениальное предположение, что ключ к решению проблемы передачи наследственных свойств будет найден стереохимиками. Вот его великие слова о стереоизомерах: «С их помощью мы можем выразить все бесконечное многообразие наследственных признаков, подобно тому, как *при помощи двадцати четырех или тридцати букв алфавита мы можем составлять слова и выразить мысли на любом языке...*». В 1860-е гг. А.С. Фаминцын открыл поразительный факт: лишайник является симбиозом гриба и водоросли. Фаминцын увидел тут возможный общий принцип эволюции. Как лишайник составлен из гриба и водоросли, так и всякий организм, по Фаминцыну, составлен из клеток, а всякая клетка — из «наипростейших жизненных единиц», т.е. внутриклеточных органелл. И онтогенез, и эволюция предстают при этом как процесс самосборки. Главным аргументом послужил Фаминцыну тот факт, что некоторые органеллы размножаются делением: до конца XIX в. было установлено, что делением размножаются хромосомы, хлоропласты, а у некоторых одноклеточных — еще клеточное ядро. Серия работ А.С. Фаминцына «О роли симбиоза в эволюции организмов» издана в 1907 г. Термин «биотехнология» водит в научную литературу Карл Эреки в 1917 г.

В 1919 г. Н.И. Вавилов издает монографию «Иммунитет растений к инфекционным заболеваниям», идеи которой и сегодня играют главную роль в селекции любых культур для сельскохозяйственного производства при выведении устойчивых сортов к заболеваниям. Исследования в области иммунитета привели Н.И. Вавилова к углубленному изучению систематики родов, видов и внутривидовых систем возделываемых растений и ближайших к ним диких видов. Им был установлен общебиологический «Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости», впервые опубликованный в 1920 г.

И вот уже в 1922 г. американские фермеры начинают закупать гибридные сорта кукурузы. В XX в. более чем 3/4 гибридной продуктивности были основаны на гетерозисе. В XXI в. благодаря молекулярной биологии многие современные инбредные линии достигают продуктивности, значительно большей, чем показатели гибридов.

В 1925 г. состоялось открытие мутагенного действия рентгеновского излучения (Г. Надсон, С.Г. Филиппов, Г. Меллер, Л. Стаплер). В том же 1925 г. С.С. Четвериков, Б.А. Астауров, Н.К. Беляев, С.М. Гершензон,

И.Ф. Рокицкий, Д.Д. Ромашов в результате экспериментальной проверки природных популяций дрософилы нашли в них большое число различных мутаций и показали, что каждый ген с той или иной частотой спонтанно переходит в мутантное состояние. На 1927 г. приходится гениальные работы Г.Д. Карпеченко. Это был первый пример генетически модифицированного организма (ГМО), полученного не в природе, а искусственно, на полях. Карпеченко впервые синтезировал новую, неизвестную в природе видовую форму *Raphanobrassica*, константный полиплоидный межродовой гибрид между редькой и капустой [Глазко 2011]. Получился капустно-редечный кентавр, да не просто какой-то там урод, а новое растение, которое стало размножаться как новый вид. Это первый пример геномной, хромосомной инженерии, первый генетически модифицированный организм.

Г. Меллер [Muller, 1927] в 1927 г. утверждал, что мутации генов можно искусственно индуцировать действием жестких излучений. Поскольку излучения способны взаимодействовать только с веществом, гены должны иметь материальную природу или быть связаны с материальными носителями.

В 1927 г. Н.К. Кольцов гениально угадал принцип воспроизводства материала наследственности по типу материнская матрица — дочерняя реплика. Он предположил, что молекулы биополимеров, входящие в хромосомы, могут служить матрицами для воспроизводства таких же молекул. Правда, он считал, что гены — это боковые радикалы аминокислот в белковой макромолекуле-геноме (гипотеза), воспроизводящейся по матричному принципу.

В 1928 г. началась геномная инженерия на животных, Б.Л. Астауров при скрещивании *Bombix mori* с другим видом шелкопряда *B. Mandarina* впервые получил новый вид, который был фертильным аллополиплоидом. Это были первые работы по получению генетически модифицированных организмов, по геномной инженерии, проведенные не самой природой, а исследователями в лаборатории.

В 1928 г. появились описания яйцеклеток человека. Опубликованы работы английского микробиолога Фредерико Гриффита (Griffith, Frederick, 1877–1941) — первые по генетической трансформации микроорганизмов. Ф. Гриффит показал, что бактериальные клетки непатогенного штамма пневмококка могут трансформироваться в патогенные с помощью трансформирующего фактора, если их ввести мышам вместе с убитыми нагреванием клетками патогенного штамма. Таким образом, создан первый генетически модифицированный микроорганизм. Шестнадцатью годами позже О. Эйвери (Avery, Oswald Theodore, 1877–1956) определил, что трансформирующим фактором служит дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК). Э. Хейц (Heitz E.) вводит термины гетеро- и эух-

роматин. А. Флеминг экспериментально доказал способность плесневых грибов синтезировать антибактериальные вещества. В 1928 г. проф. С.Г. Левит создал в Москве кабинет наследственности человека, который в 1935 г. был преобразован в Медико-генетический институт, первый в мире научный центр по изучению генетики человека.

В 1928–1935 гг. американский физик и химик Л. Полинг (Pauling, Linus Carl, 1901–1994) объяснил физические законы, влияющие на организацию атомов в молекулах. Он также описал серповидно-клеточную анемию и определил, что эта мутация связана с определенными изменениями химической структуры молекул гемоглобина.

В 1929 г. Н.П. Дубинин и А.С. Серебровский описывают сложную организацию гена и его делимость (в исследованиях гена *scute* у дрозофилы). По определению Н.П. Дубинина, «Фенотип — это явление, а генотип — его сущность», т.е. генотип проявляется в фенотипе, а фенотип всегда шире генотипа, так как в нем проявляется воздействие среды. Опубликована статья А.С. Серебровского «Опыт качественной характеристики эволюционного процесса». Дж. Гаммерлинг строгими генетическими опытами (пересадка ядер, хромосом, реципрокное скрещивание) доказал главенствующую роль ядра в определении направления развития и морфогенеза. Г.А. Надсон и Г.С. Филиппов доказали многократное усиление мутационного процесса у низших грибов под воздействием рентгеновского облучения. В исследованиях Л.Н. Делоне, М.Е. Лобашева, И.А. Раппопорта, А.А. Сапегина, В.В. Сахарова и других по искусственному мутагенезу вырабатывались представления о специфичности воздействия отдельных факторов на мутационный процесс, зависимости проявления мутаций от генетической среды, закономерностях направленного мутагенеза и т.д. С помощью радиации были получены мутации на пшенице, кукурузе, ячмене и других сельскохозяйственных культурах.

М.М. Завадовский выдвинул теорию «плюс-минус»-взаимодействия, предвосхитившую на полтора десятилетия «принцип обратной связи» Н. Винера. Кафедра динамики развития просуществовала до 1948 г. и была закрыта после августовской сессии ВАСХНИЛ, поскольку М.М. Завадовский был одним из активных противников Т.Д. Лысенко. Конец кафедры означал и конец динамики развития в целом как научного направления.

А.И. Зуйтин, И.И. Новиков, Г.М. Пхакадзе выполнили в 1930-е гг. серию классических работ по цитогенетике млекопитающих и выявлению цитогенетических причин стерильности межвидовых гибридов. Классические работы по кариологии рыб были выполнены в те же годы А.А. Прокофьевой-Бельговской.

В 1930 г. начались исследования Е. Бауэра и В.В. Сахарова по химическому мутагенезу. Вышел первый американский закон, учитывающий спе-

цифику защиты прав на результаты селекционной деятельности, — «Закон о патентах на растения 1930 г.» (Plant Patent Act of 1930). Закон предоставил возможность Патентной службе Министерства торговли США обеспечить патентную защиту на вегетативно размножающиеся растения и продлил срок действия патентов до 17 лет.

В 1930 г. Б.А. Астауров в результате длительных исследований подобрал режимы температурного воздействия для получения у шелкопрядов партеногенетических особей. В. Энгельгард показал возможность образования АТФ в процессе передачи электронов по дыхательной цепи. Г. Дж. Меллер обнаружил удивительное явление: потерю проявления доминантности у аллеля, расположенного в хромосомной перестройке, полученной в результате облучения. Все эти примеры позиционных эффектов свидетельствуют о существенной зависимости экспрессии гена от специфического окружения. Открыта М.И. Хаджиновым (СССР) и М. Родсом (США) цитоплазматическая мужская стерильность у кукурузы. А. Мюнтцинг впервые осуществил ресинтез дикорастущего вида пикульника *Galopsis tetrahit* путём аллополиплоидии из двух диплоидных видов *G. speciosa* и *G. pubescens*. Николай Васильевич Цицин (1898–1980) опубликовал первые работы по межродовой геномике, в результате межродовой гибридизации получил первые пшенично-пырейные гибриды. М.И. Хаджинов (СССР) и М. Роде (США) доказали, что от наследования митохондрий зависела передача цитоплазматической мужской стерильности у кукурузы. Английский эмбриолог Г. де Бир показал эволюционную значимость гетерохронии раннего развития — неотении, пedomорфоза, ретардации. Принцип гетерохронии оказался очень продуктивным, так как отражал относительную независимость большинства онтогенетических процессов, поскольку между ними нет жестких причинно-следственных связей, а существуют лишь параметрические.

С 1930 по 1985 г. наблюдается повышение урожайности пшеницы на порядок.

В 1931 г. американский цитогенетик Б. Мак-Клинток (Mc-Clintock, Barbara, 1902–1992) и Х. Крейтон (Creighton, Harriet) на основе полученных данных при исследовании кукурузы доказали, что в основе рекомбинации лежит кроссинговер, т.е. физический обмен реципрокными участками хромосом между двумя разорванными хроматидами. Синтез аммиака предотвратил рост нехватки удобрений во всем мире, обеспечив замену сокращающихся запасов чилийской натриевой селитры, способствовал производству метанола, мочевины и других химических веществ. Г.А. Левитский был первым в стране цитологом, который способствовал переводу селекции на цитологическую основу. В 1931 г. появился 27-й том «Трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции». Этот том полностью посвящен «морфологии хромосом». В нем изложены итоги работ,

выполненных под руководством Левитского в Цитологической лаборатории Института растениеводства в 1927–1930 гг. Термин «идиограмма» предложен С.Г. Навашиным. Этим термином он обозначил «типичный для вида состав ядра (в отношении ядерной пластинки)», следовательно, совокупность метафазных хромосом в качестве элементов «символа вида». Однако в таком понимании термин «идиограмма» не получил распространения. Г.А. Левитский в 1931 г. изменил его содержание и термином «идиограмма» обозначил графическое (диаграммно-схематическое) изображение совокупности признаков хромосом — их длины, относительных размеров плеч, вторичного расчленения. Лысенко получил первую правительственную награду. В 1931 г. «за работы по яровизации» правительство СССР награждает его орденом Трудового Красного знамени.

В 1932–1933 гг. проведена большая работа по испытанию геномных межпородных гибридов шелкопряда; работа была проведена одновременно на единой идейной основе и по согласованной программе Б.Л. Астауровым (1933 г.) в Среднеазиатском институте шелководства и Н.К. Беляевым (1932 г.) в Тбилиси — в Закавказском институте шелководства. Это была, несомненно, пионерская работа в практике советской селекции по использованию гетерозиса в практических целях, способствовавшая интенсификации промышленного шелководства. Г.А. Надсон совместно с Э.Я. Рохлиной [1932, 1933] опубликовал подробные материалы по получению под влиянием радона новых радиорас пивных дрожжей *Saccharomyces*. В последних работах авторами впервые был поставлен вопрос о практическом использовании экспериментально полученных мутантов, отличающихся от дикого типа большим накоплением биомассы, более энергичным сбраживанием и быстрым осветлением сусла. Научно-практическое направление получило дальнейшее развитие в работах ученицы и сотрудницы Г.А. Надсона Е.А. Штерн по получению радиорас почвенного микроба азотобактера, которые рекомендовались для производства бактериальных удобрений (азотогена) и оправдали себя при практическом применении.

В 1934 г. Н.П. Дубинин и Б.Н. Сидоров открыли особый тип эффекта положения гена, связанного с изменением его экспрессии при переносе гена в новое генетическое окружение, что было крупным успехом советской науки. Эффект положения, описанный Дубининым и Сидоровым, был подтвержден затем ими на примере еще одной мутации дрозофилы. Описанное явление получило название «эффекта Дубинина — Сидорова». В тот же год Николай Петрович Дубинин сумел изменить число хромосом в клетках дрозофил. Эта работа по направленному получению вполне плодовитых насекомых с тремя или пятью хромосомами вместо присущих данному виду четырех хромосом была высоко оценена Н.К. Кольцовым.

Тезис С.С. Четверикова о зависимости выражения гена от генотипической среды был подтверждён в работах Н.В. Тимофеева-Ресовского. Была предложена общая схема проявления гена, из которой следует необходимость отдельно анализировать три координаты проявления гена: пенетрантность, экспрессивность и специфичность. Каждая из них зависит от генотипической среды и может быть изменена независимо друг от друга [Тимофеев-Ресовский, 1930; Timofeeff-Ressovsky, 1934]. Изучая механизмы действия гена, Тимофеев-Ресовский выяснил, что действие температуры эффективно лишь в определённый критический период онтогенеза, причём этот период различен для пенетрантности и для экспрессивности, а характер эффекта может не совпадать по знаку. Значение генотипической среды и роль комбинативной изменчивости в эволюции были также продемонстрированы в классических экспериментах Николая Владимировича по жизнеспособности мутаций и их комбинаций [Timofeeff-Ressovsky, 1934]. Было показано, что жизнеспособность мутаций зависит как от генотипической, так и от внешней среды. Мутации, вредные поодиночке, в комплексе могут оказаться полезными за счёт взаимоослабления их вредного действия. В сборнике, посвящённом десятилетию со дня смерти В.И. Ленина, Мёллер, опубликовал большую статью, доказывая, что марксизм-ленинизм необходимо дополнить евгеникой для создания более совершенных людей [Конференция по медицинской генетике. Доклады и прения. М., 1934]. Широкое применение методов евгеники, по его мнению, могло в краткий срок улучшить популяцию человека и направить в нужную сторону его биологическую эволюцию, ускорив тем самым построение социалистического общества. Он был сторонником позитивной евгеники, ратуя за создание благоприятных условий «лучшим людям» и резко критикуя практику негативной селекции в США и Германии. [Muller H.J. Out of the Night. A Biologist's view of the Future. London; New York, 1935. P. 122]. Эта книга широко обсуждалась в прессе разных стран. В отстаивании своей социальной утопии Г. Дж. Мёллер был отнюдь не одинок в англоязычном научном пространстве. Таких же идей придерживались эволюционист Дж.С. Хаксли, генетик Дж.Б. С. Холдейн и эмбриолог Дж. Нидхэм в либеральной Англии. Все они были сторонниками радикальных социальных реформ, которые были бы ускорены проведением эффективных евгенических мероприятий, призванных создать благоприятные комбинации генов. К этому их двигали и работы Мёллера по генетическому грузу (т.е. сохранение из поколения в поколение вредных мутаций) в генофонде человека. В отличие от евгеников старшего поколения они понимали, что реализация благоприятных комбинаций возможна только при условии благоприятной среды.

Ю.А. Филипченко и Т.К. Лепин в работах по гибридологическому анализу и фенотипической признаемости у пшениц установили

принцип иерархии генного контроля количественных признаков: в каждом конкретном случае лимитирующими оказываются 3–5 генов, на фоне которых не проявляется разнообразие по остальным генам. Здесь действует принцип лимитирующего звена (принцип минимума Ю. Либиха). Иерархичность генного контроля позволяет описывать наследование количественных признаков олигогенно. К сожалению, этот принципиальный вывод был забыт в так называемом биометрическом подходе, основанном на представлении о полигенной детерминации любого количественного признака, аддитивном действии полигенов и определении коэффициента наследуемости. Впоследствии Э.Х. Гинзбург и З.С. Никоро (1982) показали, что в биометрическом подходе реализуется не генетика, а псевдогенетика, вынуждающая и постановку задач, и толкование данных проводить в терминах неоднозначно определяемых средних эффектов генов. Ныне гибридологические методы анализа наследования количественных признаков, по Филипченко, представляются более адекватными, а трудоёмкость анализа существенно снижается при применении компьютерных программ. Вышла книга Филипченко «Генетика мягких пшениц». [М., Л., 1934]. В предисловии к ней Вавилов писал: «Автор настоящей книги, ныне, к сожалению, покойный, является выдающимся советским генетиком. Его генетические исследования пользуются широкой известностью в кругах генетиков и селекционеров далеко за пределами нашей страны. Совершенно исключительны заслуги Ю.А. Филипченко, как блестящего талантливого педагога, автора ряда руководств по генетике. Он первый начал в нашей стране широкую популяризацию генетики. Под его руководством училось и учится целое поколение селекционеров и генетиков. ...Для развертывания огромной практической селекционной работы нужна сильная теория. В этом отношении настоящий труд Ю.А. Филипченко является исключительно своевременным. Он послужит началом к выработке необходимой нам теории селекции по созданию хозяйственно-ценных пород животных и растений».

По представлению Н.И. Вавилова в феврале 1934 г. Г. Мёллер был избран членом-корреспондентом АН СССР. Тогда же Вавилов рекомендовал Лысенко в члены-корреспонденты Академии наук СССР. Выступая с докладом в феврале 1934 г. на сессии Академии наук СССР, Вавилов подытожил результаты своих экспедиций в Новом Свете. Вся интересная, по Н.И. Вавилову, биологическая субстанция, на базе которой необходимо строить практическую работу по хлопчатнику и кукурузе, оказалась приуроченной к очень ограниченной территории, составляющей лишь два очага. Первый из них находится в пределах Южной Мексики и северной части Центральной Америки. Второй, более ограниченный очаг — Перу, Боливия, Эквадор и остров Чилоэ — родина картофеля. Мировой сортовой генофонд кукурузы в поразительном разнообразии типов

и хлопчатника определённо приурочен к Южной Мексике и Центральной Америке.

В 1934 г. Н.Н. Иванов обобщил результаты биохимического и химического изучения семян главнейших культур из опытов «географические посе­вы». Эти работы шли в новом направлении, хотя единичные исследования подобного рода были начаты в Англии [Gracswell и др., 1931] и Германии [Hahn, 1931, 1933]. Впервые были составлены карты белковости зерна пшеницы, ячменя, овса по районам СССР (К.А. Фляксбергер, Н.Н. Иванов, М.И. Княгиничев, М.И. Лишкевич). На большом материале были подтверждены наблюдения Н. Лясковского (1895) о том, что содержание белка в зерне пшеницы в северных и западных районах ниже, чем в южных и восточных. Установленная закономерность свойственна всем трём типам пшениц: яровым, мягким и твердым, и озимым, мягким. Эти работы имели большое народно-хозяйственное значение. Впоследствии в «белковые» карты вносились коррективы в связи с изменившимися условиями агротехники (внесением больших доз азотных удобрений, орошением) и особенностями новых сортов.

В 1935 г. опубликована статья Н.В. Тимофеева-Ресовского, М. Дельбрюка, К. Циммера о молекулярной генетике. Впервые они развили экспериментально обоснованную модель гена как макромолекулярной структуры — сегмента структуры более высокого порядка — хромосомы. В их изложении ген — гетерогенная макромолекула, имеющая квантовые свойства и способная к матричной конвариантной редупликации, ими впервые рассчитан приблизительный размер гена.

Исключительное значение для становления и развития радиационной и молекулярной генетики имела работа Николая Владимировича Тимофеева-Ресовского, Карла Циммера и Макса Дельбрюка, вышедшая в 1935 г. в «Известиях Гёттингенского научного общества» под названием «О природе генных мутаций и структуре гена» («Über die Natur der Genmutation und der Genstruktur»). Эта работа, известная в научной среде по цвету обложки издания как «Зеленая тетрадь» («Grünes Pamphlet»), — образец продуктивной кооперации трех ученых, взаимно дополняющих друг друга: физик Циммер обеспечивал самую точную в то время (по свидетельству Н.В. Тимофеева-Ресовского) дозиметрию излучений в радиационно-генетических опытах и проводил анализ мутационного процесса с позиций физической теории мишени; физик и математик по исходному образованию, Дельбрюк (будущий нобелевский лауреат) разрабатывал изящные математические решения задач о размерах эффективного объема, попадание в который необходимо для единичного мутационного события. Николай Владимирович был признанной душой коллектива, непосредственным исполнителем всех генетических экспериментов и анализа мутаций, и что особенно важно, он внес в работу представления

своего учителя Н.К. Кольцова о «наследственных молекулах»: гены — это молекулы (тогда предпочтение отдавалось белковым молекулам), а мутации — это физические изменения молекул, возникающие под влиянием различных воздействий. Историческая роль «Зеленой тетради» определяется не только тем, что в ней сформулированы основы современной радиационной генетики, но и тем, что в ней впервые дано определение вероятного размера отдельного гена, который был определен примерно в 300 атомных радиусов для сферической модели, т.е. представлял величину макромолекулярного порядка.

О месте этой работы в развитии молекулярной генетики можно судить по тому факту, что спустя полвека (в 1987 г.) один из крупнейших специалистов в этой области нобелевский лауреат Макс Перутц писал в опубликованной в «Nature» статье «Физики и загадка жизни» («Physics and the riddle of life»), что непреходящее значение известной книги Э. Шрёдингера «Что такое жизнь с точки зрения физика» (В оригинале: «What is life? The physical aspect of the living cell») состояло в популяризации содержания «Зеленой тетради». А в 1961 г. участники VI Международного биохимического конгресса в Москве, авторы модели молекулы ДНК, будущие нобелевские лауреаты Френсис Крик и Джим Уотсон называли себя научными внуками Н.В. Тимофеева-Ресовского и поднимали тост за своего Учителя.

Выполнена первая оценка частоты спонтанных мутаций у человека (I.B.S. Haldane). Н.П. Дубинин и Б.Н. Сидоров показали, что при инактивации ген не теряется, а изменяется лишь его состояние. Раздел науки, занимающийся изучением действия гена, по предложению Р. Гольдшмидта назван физиологической генетикой. Американский вирусолог и биохимик В. Стэнли (Stanley, Wendell) (1904–1971) и Нортроп (Northrop) изолировали и кристаллизовали вирус табачной мозаики — первый случай очистки вируса. Они обнаружили, что в состав вирусов входят нуклеиновые кислоты и белки, т.е. те же соединения, из которых в основном состоят хромосомы высших организмов. Советский биохимик, основоположник современной научной школы по нуклеиновым кислотам А.Н. Белозерский (1905–1972), первым выделил чистую ДНК.

В 1936 г. Б.Л. Астауров разрабатывает эффективные методы индукции партеногенеза у тутового шелкопряда, позволяющие получать потомство желаемого пола.

В 1937 г. опубликована монография Ф.Г. Добржанского «Генетика и происхождение видов» (синтетическая теория эволюции, связь теории естественного отбора с данными о популяционно-генетической изменчивости).

В 1938 г. М.М. Rhoades описывает у кукурузы ген-мутатор Dt_n . Опубликована первая работа Ф.Т. Kallman по «Генетике шизофрении».

М.А. Розанова исследовала роль полиплоидии в природе у ягодных форм. В.П. Зосимович начал проводить исследования сахарной свеклы с изучением дикорастущих видов рода и полиплоидии у них. В селекции картофеля полностью подтверждается закономерность, вскрытая Г.Д. Карпеченко (1935), о преодолении нескрещиваемости видов удвоением числа хромосом у низкохромосомного вида. В ноябре в Институте генетики была созвана малая конференция, посвящённая использованию физических и химических методов получения полиплоидов и амфидиплоидов. Новый метод — геномной селекции — получения полиплоидов воздействием колхицина (д-р Блексли) и аценафтена (д-р Шмук) оказался весьма эффективным. Эксперименты 1938 г. показали возможность получать полиплоиды очень многих растений. Сходные результаты были получены с применением высокой температуры в период цветения — метод Рандольфа. Имеющиеся данные свидетельствовали о том, что при отдалённой гибридизации объединение генетического материала от двух видов или родов может осуществляться различными путями: 1) объединения в одном организме неродственных геномов и получение полных или неполных амфидиплоидов; 2) получения дополненных линий при добавлении отдельных хромосом дикого вида или далекого культурного вида к генам культурного растения; 3) получения замещенных линий — замещение хромосом культурного вида хромосомами дикого вида или далёкого культурного вида; 4) включения наследственной информации в виде отдельных сегментов (чужеродные транслокации), возникших в результате отдаленной гибридизации или экспериментального мутагенеза. В Институте генетики с 1938 г. начались исследования эколого-географических групп культурных растений — пшениц, ячменя, льна и вики. Было намечено организовать несколько специальных опорных пунктов по всему Советскому Союзу, которые проводили бы посеvy одних и тех же гибридов со второго и дальнейших поколений для выяснения влияния климатических и других условий среды разных широт и долгот при расщеплении на отбор определенных генотипов. С этой целью с 1941 г. Институт собирался поставить скрещивания в широких масштабах для получения возможно большего количества семян гибридов первого поколения отдаленных скрещиваний, которые потом должны были быть распределены для высева в намеченных опорных пунктах. К сожалению, эту работу выполнить не удалось, так как с приходом новой дирекции отдел генетических основ селекции ликвидировали.

К работам по созданию биологического оружия и средств защиты от него привлекали паразитологов, микробиологов и биохимиков из Института микробиологии АН СССР и Института биохимии АН СССР. В этих работах участвовали заместители А.Н. Баха: биохимик Б.И. Збарский, разработавший вместе с В.П. Воробьевым метод бальзамирования

тела В.И. Ленина, и токсиколог Г. Майриновский, ставший в 1938 г. руководителем лаборатории № 1 НКВД, специализировавшейся на умерщвлении заключенных при помощи биохимических ядов.

В ходе экспедиции на Кавказ, в 1939 г., Н.И. Вавилов открыл новый для науки вид ржи — сорнополевую ломкоколосую рожь, которую он назвал *Secale sereale ssp. dighoricum* Vav. Рожь, найденная в Дигории (Северная Осетия) по ущелью р. Урух на высоте 13 501 850 метров над уровнем моря, сильно засоряла посевы ярового ячменя, яровой и отчасти озимой пшеницы, выделялась исключительной ломкостью колоса при созревании и напоминала в этом отношении дикие виды ржи — *Secale montanum* Guss. и *S. fragile* MB.

В 1941 г. опубликована работа Бидл, Тейтум [Beadle, Tatum, 1941], ставшая надолго генетической догмой, в которой утверждалось, что гены контролируют синтез ферментов («один ген — один фермент»).

Несмотря на огромное количество новых сведений о материале наследственности и практического использования части из них, не было известно, где, собственно, расположена генетическая информация, определяющая развитие любого организма. Строгие доказательства появились только в 1944 г. Было установлено, что ДНК, присутствующая в ядре любой клетки, является субстанцией, отвечающей за передачу наследственной информации, и содержит ключи к нашему прошлому, настоящему и будущему. Состав хромосом, их строение необычайно сложны. Это смесь многих компонентов: и различных ферментов, имеющих белковую природу, и других белков — основных элементов жизни, и других веществ, в том числе липидов и углеводов. Тут и открытые Фридрихом Мишером нуклеиновые кислоты — ДНК и РНК, полное название которых — *дезоксирибонуклеиновая* и *рибонуклеиновая* кислоты [Глазко, 2011]).

Генетическую роль молекул ДНК еще предстояло доказать. Этот шаг выполнил профессор Рокфеллеровского института Освальд Эвери с сотрудниками в 1944 г. [Avery et al., 1944]. Ему было 67 лет, когда он, сотрудник Рокфеллеровского института в Нью-Йорке, вместе со своими учеными коллегами Колином Мак-Леодом и Маклином Мак-Карти сделал важный вклад в учение о генах. В 1944 г. была опубликована научная статья, в которой Эвери и его сотрудники раскрыли химическую природу вещества, ответственного за наследственные изменения. Подобно исследованиям Гриффита в 1928 г. на мышах, Эвери с сотрудниками экспериментировал с пневмококками — микронных размеров бактериями, вызывающими у людей воспаление легких. И показал, что наследственные черты могут передаваться от одной бактерии к другой посредством очищенного препарата молекул ДНК. Исследователи, вводя в культуру пневмококков ДНК, выделенную из микробов того же вида, но другой расы,

вызвали у пневмококков появление признака, которым те прежде не обладали, но который был у «бывших владельцев» ДНК.

Чтобы еще больше уверить себя (и мир) в своей научной правоте, экспериментаторы провели и контрольный опыт: перед тем как вводить, разрушили ДНК. На этот раз эффект передачи нового признака не был достигнут.

Свыше 10 лет Эвери с сотрудниками отработывали методы фракционирования лизата бактерий, пока наконец не выделили активную фракцию. По физико-химическим свойствам она совпала с фракцией ДНК. По этому поводу О. Эвери писал своему брату: *«Это нечто такое, что долго было мечтой генетиков»*. О. Эвери умер в 1955 г., не дождавшись своей Нобелевской премии, которой, несомненно, был достоин. Следует добавить, что в 1939–1940 гг. очень близкое открытие сделал С.М. Гершензон в Киеве. Он показал, что введение или скармливание дрозophile чужеродной ДНК вызывает вспышку мутаций признаков крыла. Однако эта работа была прервана войной и не доведена до конца.

До этого считалось общепринятым, что гены — это особый тип белковых молекул, но нуклеиновые кислоты вовсе не были белками. Если учесть еще и тот факт, что присутствие ДНК было обнаружено в хромосомах всех клеток, то опыты Эвери заставляли предположить, что все гены состоят не из белка, а из ДНК. А если это так, то отнюдь не белки, а именно ДНК, казалось бы, должна дать ключ, который позволит узнать, каким образом гены определяют, в числе прочего, цвет наших волос и глаз, вероятно, и наш ум, а может быть, и даже нашу способность нравиться другим людям.

Уникальность ДНК в том и состоит, что в природе это единственная молекула, способная «размножаться делением», воспроизводя себя, давая живым клеткам шанс непрерывно удваивать их число.

А научной истиной это положение стало во многом благодаря исследованиям Эрвина Чаргаффа.

Э. Чаргафф, австриец по национальности, родился в 1905 г. в городе Черновцы (тогда это была Австро-Венгрия, теперь — территория Украины). Окончил Венский университет (1928), биохимик, работал в Берлине; с приходом нацистов перебрался в Париж, затем оказался в США (гражданин этой страны с 1940 г.). Много лет отдал он изучению нуклеиновых кислот. Чаргафф рос и воспитывался в атмосфере классической науки. Материальные основы генетики тогда еще не были известны. Возможно, поэтому, отдав делу изучения ДНК и РНК так много времени, имея в этой области огромные заслуги, он с недоверием и даже с неприязнью встречал последние новшества молекулярной генетики.

Он вспоминает, как поразило его сообщение Освальда Эвери (1944) о том, что таинственные гены, вроде бы, спрятаны в нуклеиновых кисло-

тах: «Я был просто потрясен. Мне вдруг показалось, что я вижу неясные контуры грамматики биологии».

Чаргафф резко повернул руль своих научных поисков и занялся химией ДНК. И удача сопутствовала ему. Ученый доказал, что в структуре ДНК число молекулярных остатков аденина (А) всегда равно числу остатков тимина (Т), а число остатков гуанина (Г) — числу остатков цитозина (Ц). Согласно Чаргаффу, выходило, что в молекуле ДНК буквы алфавита подчиняются следующему математическому закону:

$$A + G = T + C.$$

Это открытие сразу многое прояснило. Прежде всего то, почему в генетическом алфавите *четное* число букв (четверка: А, Г, Т, Ц). Понятно, нечетное число букв — три, пять и так далее — нельзя разбить на пары.

Стало понятным и то, каким образом удваивается молекула ДНК, плодя точные свои копии. Существование двух взаимосвязанных через дополнительные буквенные пары А–Т и Г–Ц спиралей, внешнее надстраивание на них дополняющих букв позволяют природе легко размножать ДНК и клетки.

Процесс идет таким образом. Одна материнская цепь, назовем ее «нить I», воспроизводит дочернюю нить — цепь II, а вторая материнская нить (II) воспроизводит дочернюю цепь I. Вот так вместо одной возникают уже две молекулы двуцепочечной ДНК. Затем, если считать общее их число — 4, 8, 16 и т.д. (эстафета поколений!), их количество увеличивается в геометрической последовательности до бесконечности, т.е. до наших дней.

В 40-е гг. прошлого века мнение о связи генов с ДНК еще не было однозначным. Многие тогда считали бактерии (пневмококки, в частности) совсем особой формой жизни, где все не так, как у людей или животных. Были и другие сомнения. Прославленный генетик Герман Мёллер, к примеру, полагал, что ДНК — это просто вещество, способное вызывать изменения в генах, т.е. производить мутации, и что сами гены имеют белковую природу.

Ш. Ауэрбах [Auerbach, Robson, 1944] и И.А. Рапопорт (1948) показали, что мутации генов можно индуцировать действием простых химических соединений. Это значит, что гены обладают химическими свойствами, т.е. связаны с молекулярным уровнем организации вещества.

В 1945 г. гибридное зерно кукурузы уже составляет 78% от общего культивируемого объема в США. Г.В. Лопашов разработал метод пересадки ядер в яйцеклетки тритона. С. Луриа публикует работу, описывающую мутации у бактериофагов. Генетика получает мощную модель для исследований на молекулярном уровне, в разработку которой вносят су-

щественный вклад R.R. Humphrey и С. Пурии на основании данных о мутагенезе у бактериофагов.

В 1946 г. E.S. Mc Fadden и E.R. Sears определили источник *D*-генома пшеницы. И.А. Раппопорт продемонстрировал мутагенную эффективность формальдегида. Опубликована монография И.И. Шмальгаузена «Факторы эволюции». Впервые показано, что направление отбора является фактором генерации фенотипической изменчивости и изменений «приспособленности» различных генотипов, создана теория стабилизирующего отбора И.И. Шмальгаузенем. В ней он объединил принцип трансформизма и принцип типа, идеи гармонии природы и борьбы, тихогенеза и номогенеза. И.И. Шмальгаузен (1884–1963) первым поставил вопрос о причинах сохранения сформировавшихся адаптаций, объяснив это явление действием стабилизирующего отбора. Однако стабилизирующий отбор действует только при условии стабильного соотношения признака и тех условий среды, к которым этот признак обеспечивает адаптацию. Поэтому стабилизирующим отбором можно объяснить сохранение только отдельных признаков организма. Движущий отбор дает направление, своеобразный вектор популяции, создает новые генотипы. Стабилизирующий отбор совершенствует процессы индивидуального развития особей, не меняя генотип. В результате стабилизирующего отбора определяется преобладающий в данных условиях фенотип. Движущий фактор эволюции — естественный отбор. Его генетический смысл состоит в сохранении внутри популяции определенных генотипов и избирательном их участии в передаче генов следующим поколениям. Роль естественного отбора проявляется на уровне фенотипа в целом, а не на отдельном фенотипическом признаке. Иван Иванович Шмальгаузен писал: «Стабилизирующая форма отбора осуществляется на основе селекционного преимущества нормальной организации перед уклонением от нормы». В рамках синтетической теории эволюции макроэволюция, ведущая к образованию надвидовых групп, осуществляется через процессы микроэволюции и каких-либо особых механизмов, определяющих возникновение этих групп, не имеет. Синтетическая теория эволюции предполагает медленность процесса развития, так как мутанты становятся началом эволюционных процессов.

В 1948 г. вышла в свет работа Н.П. Дубинина «Экспериментальное исследование интеграции наследственных систем в процессе эволюции популяций», имеющая значение для эволюции и разработки новых принципов селекции. Работы Б.А. Астаурова по искусственному партеногенезу у шелкопряда начали внедряться в селекционную практику. Основан ботанический сад Дальневосточного научного центра Сибирского отделения АН СССР (Владивосток). И.В. Смирновым открыт метод криоконсервации. Корова впервые оплодотворена глубоководной спермой

и принесла вполне здорового теленка. И. Беренблум открыл многостадийность канцерогенеза. А. Boivin et al. выдвинули гипотезу о постоянстве количества ДНК. А. Boivin, R. Vendrely и С. Vendrely показали, что в разных клетках организма количество ДНК для каждого гаплоидного набора хромосом постоянно. Н.1<. Mitchell и I. Lein показали, что триптофансинтетаза утрачивается в определенных мутантных линиях у *Neurospora*. Это открытие представляет собой первое прямое доказательство теории «один ген — один фермент». В.В. Хвостова создала полиплоидную высокоперитринную ромашку.

В 1955 г. Р. Голдшмидт [Goldschmidt, 1955], а впоследствии и К. Мазер [Мазер, Джинкс, 1985] выдвинули гипотезу об иерархии генов: существуют гены большого эффекта (майор-гены, главные гены, олигогены), контролирующие менделевские признаки, и гены малого эффекта (минорные гены, модификаторы, полигены), контролирующие непрерывные количественные признаки.

В 1956 г. Н.П. Дубининым была организована лаборатория радиационной генетики в Институте биофизики АН СССР, а в 1957 г. был создан Институт цитологии и генетики СО АН СССР в Новосибирске, в котором Дубинин стал первым директором.

Продолжается работа над созданием высокоурожайных сортов основных зерновых культур, особенно пшеницы, кукурузы, проса и риса, массово повышается уровень урожая этих культур во многих странах за счет создания новых сортов и разработки новых агротехнологий, связанных с широким использованием химических средств защиты и удобрений. Этот процесс получил название «зеленая революция». Первая «зеленая революция» обусловила резкое повышение урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивности сельскохозяйственных животных, сопровождавшееся значительным повышением вклада антропогенной энергии в агроэкосистемы и загрязнением почвы и воды пестицидами, уменьшением биологического разнообразия экосистем.

Процесс объединения биологических знаний ведет к созданию новых дисциплин, занимающихся изучением живого с наиболее общих позиций (теория систем, биокибернетика и т.д.). Если дифференциация зачастую идет стихийно, то процесс интеграции носит в значительной мере осознанный характер, активно воздействуя на выбор стратегии теоретического поиска. Интеграция связана с растущим пониманием целостности изучаемых объектов и процессов, со стремлением познать тот или иной феномен в его динамике и развитии. Одним из проявлений интеграции является возникновение новых отраслей знания, стоящих на стыках разных естественных наук (геохимия, радиобиология, космическая биология). На стыке биологии с медициной возникли паразитология, гельминтология, патанатомия, фитопатология, медицинская энтомология. Клас-

сическим примером союза таких столь далеких друг от друга отраслей, как биология и техника, стала бионика — наука, использующая принципы организации и функционирования живых организмов для усовершенствования технических устройств, создания новых типов приборов, автоматов, систем управления, компьютеров. Интеграции биологических знаний способствовало широкое проникновение в биологию математики, кибернетики и теории информации, охвативших прежде всего надорганизменные уровни жизни, связанные с пониманием единства ее пространственно-временной организации, адаптации и эволюции. Быстрое развитие экологии, биоценологии, учения о биосфере диктуется запросами практики — сельскохозяйственного производства, различных промыслов, лесоводства, а также ухудшением состояния окружающей среды.

В 1963 г. Роберт Меррифилд разработал метод синтеза пептидов на твердой подложке. Это давало возможность автоматизировать синтез белка химическими методами, что впоследствии и было осуществлено. Опубликована первая модель репликона (I. Monod, S. Brenner). Э. Тэйтум, нобелевский лауреат, ввел в научный оборот термин «генная инженерия» и четко определил ее задачи. Выделена первая ДНК-метилтрансфераза из бактерий *E. coli* (М. Голд и Дж. Хурвитц). Получены новые сорта пшеницы и других культур, увеличивающие урожайность на 70% (Норман Борлоуг) [Глазко 2006, 2011].

В 1970 г. благодаря работам Вернадского, Тимофеева-Ресовского и многих других на 16-й сессии Генеральной конференции ЮНЕСКО принята МАБ (программа «Человек и биосфера», МАВ — Man and Biosphere) — широкая международная научно-исследовательская программа, в одну из основных задач которой входит организация в разных странах мира биосферных заповедников. В США принят Закон о защите сортов растений (The Plant Variety Protection Act), который предоставил селекционерам охрану прав на новые сорта растений, что подтверждается специальным свидетельством (сертификатом). Такой сертификат предоставляет исключительные права на новые сорта растений в течение 18 лет. Создан ряд отраслей микробиологической промышленности (производство белков, аминокислот, витаминов, гиббереллинов, антибиотиков, ферментов). Микроорганизмы стали использоваться при разработке рудных месторождений, промышленной фиксации атмосферного азота.

Прогресс физико-химической биологии стал возможен благодаря применению электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа, электрофореза, хроматографии, ультрамикротомии, голографии, спектрофотометрии, масс-спектрографии, томографии, лазеров и многих других методов. Созданы методы прижизненных исследований: культивирование

на питательных средах клеток, тканей и органов; маркировка эмбрионов и т.д. В качестве моделей для исследования молекулярных основ жизни, как правило, используются дрожжи, бактерии, археобактерии, вирусы и другие микроорганизмы.

Норман Борлауг, один из авторов «зеленой революции», получает Нобелевскую премию за создание короткостебельных сортов пшеницы, что стало первым случаем признания научных заслуг селекционера. Джулиусу Аксельфорду, Бернарду Кацу, Ульфу фон Эйлеру присуждена Нобелевская премия за открытие гуморальных медиаторов в нервных окончаниях и механизмов их выделения, хранения и инактивации. Работа Ульфа фон Эйлера имеет важнейшее значение для понимания и лечения болезни Паркинсона и гипертонической болезни. Открытые Эйлером простагландины используются сегодня в акушерстве и гинекологии [<http://n-t.ru/nl/mf/>].

В 1971 г. создана Консультативная группа по международным сельскохозяйственным исследованиям (Consultative Group on International Agricultural Research) с целью мобилизации новейших научных достижений и как центр свободного международного обмена генетическим материалом растений. Группа является ассоциацией, в которую входят государственные и частные организации из более чем 100 стран мира. Группа представляет собой международную сеть сельскохозяйственных исследовательских центров и финансируется правительствами разных стран, различными агентствами и частными организациями.

В 1972 г. по инициативе ООН в Стокгольме созвана Первая международная конференция по охране окружающей среды. На этой конференции образована Программа ООН по окружающей среде (ЮНЕП) и установлен Всемирный день охраны окружающей среды (5 июня). Конференция стала поворотным пунктом в экологической политике государств и международного сообщества. Конференция ЮНЕСКО приняла Конвенцию об охране всемирного культурного и природного наследия.

К. Анфинсен был удостоен Нобелевской премией по химии за исследования рибонуклеазы. Он впервые показал связь между аминокислотной последовательностью и биологически активной конформацией полипептидов. В серии изящных экспериментов он показал, что необходимая информация заключена в линейной последовательности аминокислот пептидной цепочки, что никакой дополнительной генетической информации, большей, чем та, которая заключена в ДНК, не требуется. Вместе с ним Нобелевскую премию разделили С. Мур и У. Стайн за вклад в понимание связи между химической структурой и каталитическим действием активного центра рибонуклеазы. Им удалось определить местоположение и состав компонентов активного центра рибонуклеазы, который катализирует расщепление РНК. С помощью метода ионообменной хроматографии

были получены высокочистые образцы этого фермента. Разрушив химические связи в белке, они разделили пептиды и установили последовательность чередования аминокислот, разработали автоматический метод аминокислотного анализа, используемый при исследованиях в области биохимии белков. Развитие этих представлений привело к открытию каталитических свойств РНК (С. Олтмен и Т. Чек — Нобелевская премия по химии за 1989 г.).

В 1973 г. Комиссия по редким и исчезающим видам МСОП публикует «черный список» видов и подвидов животных, исчезнувших с лица Земли с 1600 г. Был составлен и вступил в силу Акт о видах, которым грозит уничтожение (The Endangered Species Act). Конраду Лоренцу, Николасу Тинбергену, Карлу фон Фришу присуждена Нобелевская премия за открытия, связанные с созданием и изучением моделей индивидуального и группового поведения животных. Николас Тинберген сформулировал положение о том, что инстинкт возникает благодаря импульсам или побуждениям, исходящим от самого животного. Инстинктивное поведение включает стереотипный набор движений — так называемый фиксированный характер действия (ФХД). Зоолог Карл фон Фриш, занимаясь изучением поведения пчёл, выяснил, что пчёлы передают друг другу информацию с помощью серии тщательно разработанных танцев, отдельные па которых и содержат соответствующую информацию [<http://nl.mf/>].

В 1974 г. выходит книга «Замыкающийся круг» Барри Коммонера, где в популярной форме были изложены основные экологические проблемы человечества. А. Корнберг опубликовал монографию «Синтез ДНК». Дж. Мельхерс (G. Melchers) вводит термин «соматическая гибридизация», означающий процесс слияния протопластов соматических клеток. В открытом письме П. Берг и ряд ученых-микробиологов призвали Национальные институты здравоохранения США (National Institutes of Health — NIH) разработать принципы и правила использования рекомбинантных ДНК. Они считали, что объединение генов, происходящих из двух различных организмов, может случайно привести к созданию нового организма с нежелательными и опасными свойствами. Письмо содержало квалифицированные рекомендации по прекращению проведения некоторых видов экспериментов до решения вопросов по их безопасности. Национальные институты здравоохранения США создают Консультативный комитет по рекомбинантным ДНК (Recombinant DNA Advisory Committee). Комитет также рекомендовал временно приостановить проведение экспериментов до получения всесторонней оценки рисков. Организуются первые биотехнологические компании, основанные на использовании методов генетической инженерии. К концу 1980 г. в США насчитывается 25 биотехнологических компаний, а объем их

финансирования (за пять лет) составит 266 млн долл. Дж. Джохансон около г. Хадар в Эфиопии открыл остатки *galopithecus afarensis*, который жил 3,8 млн лет тому назад, вел полуназемный образ жизни, характеризовался бипедией, хотя и имел обезьяноподобные челюсти и череп. Этот вид стал первой формой, связавшей предков человека и шимпанзе. находка подтвердила выводы молекулярной генетики о недавней их дивергенции. Р. Кастенгольцем были обнаружены зеленые нитчатые бактерии. После долгих исследований Г. Фукс (1992) доказал, что у них функционирует особый гидроксипропионатный путь ассимиляции углекислоты. Пол Джон Флори награждён премией за фундаментальные достижения в области теории и практики физической химии макромолекул. Исследовал конфигурацию белков и полипептидов — макромолекул, играющих важную роль в метаболизме. Нобелевская премия за открытия, касающиеся структурно-функциональной организации клетки (лизосомы, рибосомы и функции митохондрий), присуждена А. Клод, К. де Дюв и Дж. Палад (Albert Claude, Christian De Duve, George E. Palade). Де Дюву принадлежит открытие новых органелл — лизосом, в которых содержатся многие ферменты, участвующие во внутриклеточном переваривании питательных веществ. Он продолжает работать над получением веществ, повышающих эффективность и снижающих побочные проявления лекарственных средств, применяемых для химиотерапии лейкозов [<http://n-t.ru/nl/mf/>].

В 1975 г. в Хиросиме и Нагасаки организация, предназначенная для изучения, применения и распространения знаний о медицинских последствиях у переживших атомные бомбардировки, реорганизована в Radiation Effects Research Foundation (RERF) — бинациональную (японско-американскую) организацию (годовой бюджет в 1993 г. составлял 4620 млн иен, 46,2 млн долл.) [Глазко, Чешко, 2007].

В работах В.А. Струнникова и его сотрудников (Терская, Струнников) были открыты новые закономерности действия температуры на процесс партеногенетической активации яиц шелкопряда и найдены условия получения гомозиготных самцов. Участники Асилмарской международной научной конференции, посвященной вопросам изучения молекул рекомбинантных ДНК (Asilomar Conference) (Монтерей, шт. Калифорния), призвали к мораторию на некоторые биотехнологические эксперименты. Дэвиду Балтимору, Говарду М. Темину присуждена Нобелевская премия за открытия, касающиеся взаимодействия между онкогенными вирусами и генетическим материалом клетки (David Baltimore, Renato Dulbecco и Howard Martin Temin), Ренато Дельбекко — за открытие клеточной трансформации. Изучая фермент обратной транскриптазы у онкогенных вирусов, Балтимор обнаружил восемь ретровирусов, обладающих данным ферментом. Было выявлено, что они вызывают такие заболевания, как

гепатит, некоторые формы рака у человека и СПИД. Открытие Ренато Дульбекко предоставило ученым средство идентификации злокачественных опухолей человека, вызванных опухолевыми вирусами. Дульбекко обнаружил, что опухолевые клетки трансформируются опухолевыми вирусами таким образом, что начинают неограниченно делиться, — этот процесс он назвал клеточной трансформацией. Говард М. Темин обнаружил вирусы, обладающие активностью обратной транскриптазы и существующие как провирусы в геномной ДНК клеток животных [<http://n-t.ru/nl/mf/>].

В 1976 г. Г. Бойер и Р. Свэнсон (Robert A. Swanson, 1947–1999) основали биотехнологическую компанию «Дженентек» (Genentech) для коммерческого использования возможностей технологии рекомбинантной ДНК. Национальные институты здравоохранения США разработали первые правила контроля и инструкции по обеспечению безопасности использования микроорганизмов в лабораторных исследованиях, которые сильно ограничили возможности экспериментальной деятельности. Появился призыв не присуждать Нобелевскую премию за исследование рекомбинантных ДНК. Уильям Нанн Липскомб удостоен премии за исследование структуры боранов (боргидритов), проясняющих проблемы химических связей. Разработал новую технологию изучения этих соединений путем дифракции рентгеновских лучей при высоком вакууме и низкой температуре, и ему удалось подробно описать их структуры как клеткоподобные полиэдры. Дэниел Карлтон Гайдузек получил премию за открытия новых механизмов происхождения и распространения инфекционных заболеваний. Его исследования привели к распознаванию новой категории человеческих болезней, вызываемых уникальными болезнетворными агентами — инфекционными белками. Небольшие белковые тяжи, обнаруженные в инфицированном медленными вирусами головном мозге, как полагают, и являются причиной болезни. Барух Бламберг удостоен премии за открытия, касающиеся новых механизмов происхождения и распространения инфекционных заболеваний. Выделил антиген у носителей вируса гепатита В, который оказался безвредной и эффективной вакциной. Разработки Бламберга побудили к созданию вакцин, вырабатываемых бактериями, измененными с помощью методов генной инженерии [<http://n-t.ru/nl/mf/>]. Выпущена первая регламентация работ с рекомбинантной ДНК.

В 1977 г. Розалин Ялоу получила премию за развитие радиоиммунологических методов определения пептидных гормонов. С того времени метод использовали в лабораториях всего мира для измерения малой концентрации гормонов и других веществ в организме, ранее не определявшихся. Метод можно использовать для выявления вируса гепатита в донорской крови, для ранней диагностики рака. Роже Гиймен удостоен

премии за открытия, связанные с секрецией пептидных гормонов мозга. Определение химической структуры гипоталамического гормона (ТРФ) положило начало нейроэндокринологии как отдельной научной дисциплины. ТРФ ныне используется в клинике для диагностики и лечения некоторых заболеваний, связанных с гормональным дефицитом [<http://n-t.ru/nl/mf/>]. Появился термин «архебактерии» («древние бактерии»), который К. Воз применил к микроорганизмам, не относящимся к филогенетическому стволу бактерий, но имеющим прокариотическое строение. После создания в 1977 г. концепции об археях интерес к их гипертермофильным и барофильным представителям сильно возрос. Непрерывно увеличивается число задокументированных видов, особенно среди гипертермофилов. Местообитаниями гипертермофилов, температурный оптимум которых составляет 80–100 °С (они не размножаются ниже 60 °С), служат гидротермальные, геотермальные и антропогенные высокотемпературные экосистемы. Первый представитель рода сульфобус был изолирован Д. Браэри из кислого термального источника на территории Йеллоустонского национального парка (США) в 1966 г. Разнообразные представители гипертермофильных серозависимых ацидофилов были выделены В. Циллигом и его сотрудниками из наземных и подводных термальных источников, грязевых вулканов и почв сольфатар в 1981–1983 гг. Особо плодотворными оказался скрининг гидротерм, осуществленный в начале 1980-х гг. К. Штеттером близ Неаполя. В итоге были описаны термобарофилы термодискус и пиродиктиум (оптимум роста 85 и 105 °С). В 1997 г. К. Штеттер выделил из подводной гидротермальной системы типа «черного курильщика» нового представителя барофильных архей, оказавшегося чемпионом среди гипертермофилов. Этот микроорганизм, получивший название пиролобус, не способен расти при температуре ниже 90 °С и имеет максимальную температуру роста 113 °С, что является зарегистрированным пределом существования органической жизни. Сомнения в том, что метаногены относятся к бактериям, появились в 1976 г., когда Р. Вулф, анализируя распространение коэнзима М, обнаружил, что он уникален для метаногенов (этот факт противоречил концепции А. Ключевера о биохимическом единстве жизни). Эндрю В. Шали присуждена Нобелевская премия за открытия механизмов секреции пептидных гормонов головного мозга. Шалли установил химическое строение фактора, тормозящего высвобождение гормона роста, и назвал его соматостатином. Некоторые из его аналогов используют для лечения сахарного диабета, язвенной болезни и акромегалии — заболевания, характеризующегося избытком гормона роста [<http://n-t.ru/nl/mf/>].

В 1978 г. Федеральное правительство США начало оказывать финансовую поддержку биотехнологическим исследованиям, особенно связан-

ным с рекомбинантными ДНК. Питер Митчелл удостоен премии за вклад в понимание процесса переноса биологической энергии, сделанный благодаря созданию хемиосмотической теории. Хлоропласты, митохондрии и бактерии можно рассматривать как естественным путем образующиеся солнечные и топливные элементы, и в этом своем качестве они могут служить «строительным материалом» для энергетической технологии. Премия присуждена Вернеру Арберу за обнаружение рестрикционных ферментов и их применение в молекулярной генетике. Открытие произвело переворот в генетике высших организмов и полностью изменило представления об организации их генов: ДНК высших организмов имеют «нейтральные» участки, чередующиеся с участками, хранящими генетический код. Хамилтон Смит удостоен премии за открытие рестрикционных ферментов и их использование для решения проблем молекулярной генетики. Исследования сделали возможным провести подобный анализ химического строения генов. Это открыло большие перспективы в изучении высших организмов. Благодаря этим работам ученые в настоящее время получили возможность заняться важнейшей проблемой дифференциации клеток. Даниел Натанс удостоен премии за открытие ферментов рестрикции и методов их использования для анализа генетической структуры, в частности для разработки методов рекомбинации ДНК с целью создания бактериальных «фабрик», синтезирующих необходимые для медицины препараты, такие как инсулин и гормоны роста [<http://n-t.ru/nl/mf/>]. Вернеру Арберу, Даниелу Натансу, Хамилтону Смигу (Werner Arber, Daniel Nathans и Hamilton O. Smith) присуждена Нобелевская премия за обнаружение рестрикционных ферментов и разработки их применения в молекулярной генетике, а также Peter D. Mitchel — за вклад в понимание транспорта биологической энергии путем формулирования хемиосмотической теории.

В 1978–1981 гг. В.П. Скулачев создал теорию хемиосмотической циркуляции протонов в биологических мембранах. В этом году начинаются широкие работы по выращиванию ГМ сельскохозяйственных культур с полезными качествами: стойкостью к гербицидам, вредителям и вирусам.

В 1980 г. в компании «Биоген» (США) впервые получили с помощью биосинтеза (продуцент — кишечная палочка) интерферон. Э. Трифонов и М. Зусман выяснили, что в геноме человека пары адениновых нуклеотидов встречаются с периодичностью 10,5 на протяжении любой последовательности ДНК, которая взаимодействует с единицей гистонового октамера и образует нуклеосому. Впервые принципиальную возможность генотерапии показали Д. Кляйн с соавторами, трансформировав клетки костного мозга препаратом хромосомной ДНК метотрексат-устойчивой (Mtxr) культуры мышинных клеток. (Это первый успешный опыт по пере-

носу генов в клетки определенной ткани) (Cline et al.). Работами Дж. Шелла, М. Ван Монтагю, Р. Шилпероорта, Е. Нестера доказано, что почвенная бактерия *Agrobacterium tumefaciens*, вызывающая болезнь «корончатые галлы», способна переносить и встраивать часть своей Ti-плазмиды (Т-ДНК) в ядерный геном растений. Верховный суд США, слушая дело «Даймонд против Чакрабарти», вынес вердикт, что микроорганизмы, полученные генно-инженерными методами, могут быть запатентованы. Получен первый патент США на генетически измененный микроорганизм. Дулитл Сапиенц и Орджел Крик высказали гипотезу об «эгоистичной ДНК». Показано, что действие экологических стрессов приводит не только к изменчивости частоты кроссинговера, но и к эколого-филогенетическому адаптациогенезу самой рекомбинационной системы (А.А. Жученко). Генеральная Ассамблея ООН принимает резолюцию «Об исторической ответственности государств за сохранение природы Земли для нынешнего и будущих поколений».

В «Экологической генетике культурных растений», а также в ряде последующих работ А.А. Жученко развито представление о генетической природе адаптивного потенциала растений как функции взаимосвязи генетических систем онтогенетической и филогенетической адаптации. Группа исследователей корпорации «Сетус» (Cetus Corporation) (Беркли, шт. Калифорния), возглавляемая К. Мюллисом (Mullis, Kagy Banks, р. 1944), разработала способ получения *in vitro* большого количества специфических нуклеотидных последовательностей — полимеразную цепную реакцию — ПЦР (за что получит Нобелевскую премию в 1993 г.). ПЦР будет названа наиболее революционным и эффективным инструментом молекулярной биологии 1980-х гг. «Сетус» запатентовала этот способ и в 1991 г. продала патенты на права корпорации «Хоффман-Ла Рош» за 300 млн долл.

Первоначальные директивы Национальных институтов здравоохранения пересмотрены в сторону смягчения требований к рекомбинантным ДНК, в основном благодаря экспериментальным данным, полученным в ходе исследований. Это значительно повлияло на ускорение развития биотехнологии. Верховный Суд США в решении по делу «Даймонд vs Чакрабарти» (Diamond vs. Chakrabarty) создал прецедент по патентованию рекомбинантных микроорганизмов. Причиной судебного рассмотрения стала рекомбинантная бактерия, разлагающая определенные компоненты нефти и вызвавшая опасения по поводу ее проявления *in vivo*. Практическое значение — решение суда распространило права селекционеров на генетически модифицированные микроорганизмы, а также на некоторые процессы и продукты, относящиеся к биотехнологии. Историческое значение — положено начало коммерциализации биотехнологии. Первые акции «Genentech» поступают в продажу

и бьют рекорды на Уолл-Стрит. С. Коэну и Г. Бойеру выдан патент США (№ 4237224) на использование вирусных и плазмидных векторов для создания рекомбинантных ДНК. Е. Росс и А. Гилман выделили аденилаткиназу — фермент, синтезирующий циклическую АМФ. Эффекторами, играющими роль триггеров, выступают протеинкиназы, фосфорилирующие ферментные белки (Э. Кребс и Э. Фишер — Нобелевская премия за 1992 г.). Системы более высокой организации (иммунная система) способны распознавать высокоорганизованные молекулярные структуры — антигенные детерминанты. Действующим началом в биологическом узнавании выступают белки-антитела, специфические для определенных молекулярных структур (Д. Эдельман и Р. Портер — Нобелевская премия за 1972 г.). Л.Я. Боркин и И.С. Даревский выделили специфическую форму видообразования — кредитогенез, когда в становлении нового вида используется лишь часть генетической информации одного из видов, ставших основой для образования гибридных форм. Нобелевская премия в области химии присуждена одновременно за создание первых рекомбинантных ДНК и за разработку эффективных методов секвенирования ДНК П. Бергу, У. Гилберту и Ф. Сэнгеру (Paul Berg Walter Gilbert и Frederick Sanger) за выдающийся вклад в разработку методов экспериментальных манипуляций с ДНК. Пол Берг провел фундаментальные исследования биохимических свойств нуклеиновых кислот, в особенности рекомбинантных ДНК. Технология, разработанная Бергом, позволила не только оперировать генами для создания новых фармацевтических средств, таких как интерферон и гормоны роста, но и впервые так глубоко проникнуть в молекулярную биологию высших организмов. За вклад в установление основных последовательностей в нуклеиновых кислотах Фредерик Сенгер получил вторую премию. Впервые была дана такая подробная расшифровка цепи ДНК. Молекулярный биолог Уолтер Гилберт удостоен премии за вклад в определение последовательности оснований в нуклеиновых кислотах. Он определил полную нуклеотидную последовательность исследуемого белка. Работа принесла пользу человечеству в виде такого важного технического решения, как производство человеческих гормонов с помощью бактерий. Джордж Снелл получил премию за открытия, касающиеся генетически определенных структур, расположенных на поверхности клеток и регулирующих иммунные реакции. Снелл пришел к выводу о существовании отдельного гена, или локуса, играющего особо важную роль в приживании или отторжении трансплантата. Позднее было установлено, что это группа генов в одной и той же хромосоме. Жан Доссе получил премию за открытия, касающиеся генетически детерминированных структур на клеточной поверхности, регулирующих иммунологические реакции. В результате исследований была создана стройная биологическая сис-

тема, имеющая важное значение для понимания механизмов клеточного «узнавания», иммунных ответов и отторжения трансплантата. Барух Бенасерраф получил премию за открытия, касающиеся генетически определенных структур на клеточной поверхности, регулирующих иммунные реакции, он доказал, что способность реагировать на антитела определена генетически [<http://n-t.ru/nl/mf/>].

В 1981 г. поступили в продажу первые автоматические синтезаторы ДНК. Разрешен к применению в США первый диагностический набор моноклональных антител. В. Сидоровым с сотрудниками впервые через культуру клеток получена ауксотрофная мутация у растений и на основе слияния протопластов разработан метод направленного переноса цитоплазматических геномов (хлоропластов) из одних растений в другие. J. Wagner и др. описал энхансеры (усилители). Серповидно-клеточная анемия становится первой генетической болезнью, диагностируемой пренатально с помощью рестрикционного анализа ДНК. А. Разин (Израиль) и независимо Б.Ф. Ванюшин расшифровали природу цитозин-метилируемых сайтов в ДНК растений и животных. Н.В. Тимофеев-Рессовский вместе с А.В. Савичем и М.И. Шальновым опубликовал книгу: «Введение в молекулярную радиобиологию».

В США проданы первые диагностические комплекты на основе моноклональных антител. Впервые был маркирован автоматически синтезированный ген. Сфера деятельности некоторых биотехнологических компаний перемещается из фармацевтики и медицины в сельское хозяйство и промышленность. Общее число новых компаний, применивших биотехнологические подходы к развитию сельского хозяйства, насчитывает около 50 предприятий. Компания «Монсанто» открывает молекулярно-биологическое отделение с научным центром в Сент-Луисе (шт. Миссури). Задачей центра являлись исследования в области агрономии. Конгрессмен А. Гор (Gore, Albert Arnold, Jr., р. 1948) проводит ряд слушаний, связанных с усилением взаимодействия академического и частного секторов в сфере биотехнологических исследований. Он высказал опасения, что «огромные финансовые поступления от использования изобретений и прав интеллектуальной собственности могут негативно сказаться на проведении исследований в университетах». Установление Дж. Мартином и И. Фридовичем горизонтального переноса генетической информации между сребробрюшковыми рыбами (*Leiognathus*) и биолюминесцирующими бактериями (*Photobacterium leiognathi*) стимулировало дискуссию о возможности эволюции путем обмена генов между отдаленными таксонами. Кэнити Фукуи и Роалд Хофман совместно получили премию за разработку теории протекания химических реакций, созданную ими независимо друг от друга. Концепции граничных орбиталей и сохранения орбитальной симметрии расширили гра-

ницы понимания взаимодействия молекул при их столкновении. В результате работы появились новые, огромной значимости возможности для планирования химических экспериментов. Роджеру Сперри присуждена Нобелевская премия за открытие функциональной специализации полушарий головного мозга (Roger W. Sperry, David H. Hubel и Torsten N. Wiesel). Исследования показали, что правое и левое полушария выполняют различные познавательные функции. Торстен Визел удостоен премии совместно с Дэвидом Хьюбелом за открытия, касающиеся принципов переработки информации в нейронных структурах. Открытие объяснило один из наиболее скрытых механизмов деятельности головного мозга — способ расшифровки клетками коры головного мозга зрительных сигналов, показало, как различные компоненты изображения на сетчатке считываются и интерпретируются клетками коры головного мозга. Анализ происходит в строгой последовательности от одной клетки к другой, и каждая нервная клетка отвечает за определенную деталь в целой картине. Работа имела большое значение для лечения глазных болезней, особенно врожденных катаракт [<http://n-t.ru/nl/mf/>].

В 1982 г. состоялось первое коммерческое применение методов биотехнологий для получения рекомбинантного человеческого инсулина (микробный синтез), используемого для лечения диабета. Разрешена к применению в Европе первая вакцина для животных, полученная по технологии рекомбинантных ДНК. Проведено клонирование эмбрионов крупного рогатого скота. Тщательная процедура клинической проверки генно-инженерных продуктов позволила получить разрешение на использование для лечения рекомбинантного инсулина. Инсулин, полученный с применением ГМ-технологии, был одобрен к продаже Федеральным управлением по вопросам пищевых продуктов и лекарств. Возникли GenBank и EMBL — основные банки нуклеотидных последовательностей. Вскоре после этого были созданы программы быстрого поиска по банку — FASTA и затем BLAST. На 37-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН принята ВХП (Всемирная хартия природы) — совокупность программных положений, отражающих основные принципы взаимоотношений человечества с окружающей природной средой. Появилось утверждение о том, что горизонтальный перенос генетической информации может носить взрывообразный характер и при невысокой специфичности переносчика охватывать одновременно многие (особенно близкие) виды — потенциальное единство генофонда биосферы (В. Кордюм). Английский метеоролог Дж. Фарман обнаружил значительное увеличение интенсивности ультрафиолетовой компоненты в спектре солнечного излучения над Антарктидой, которое геофизики очень быстро связали с уменьшением концентрации озона в стратосфере. Конференция ОАО приняла резолюцию 8/83 «Задание по растительным генетическим ресур-

сам» («Undertaking on Plant Genetic Resources»), цель которой — обеспечение исследования и оценки растительных генетических ресурсов для научных целей и культивирования растений. Также была обозначена цель — гарантировать свободный доступ к генетическому материалу общественных и коммерческих организаций. Учреждена Комиссия по растительным генетическим ресурсам. В ведомства США поступили три заявки на проведение полевых испытаний ГМО: две — по ГМ-растениям (кукурузе и табаку), а третья — по ГМ-штамму микроорганизма *Pseudomonas syringae*, способного снижать уровень повреждений растений при заморозках. Этот прецедент стал поворотным моментом в регламентировании процедур, призванных контролировать высвобождение ГМО в окружающую среду. С. Прузинер (Нобелевская премия за 1997 г.) развил концепцию «только белок». Сенсация «белковой наследственности» в чистом виде просуществовала недолго. Оказалось, что в геноме всех млекопитающих существует эволюционно консервативный ген PRNP, кодирующий нормальный клеточный белок нервной системы, являющийся предшественником белка-приона. Прионизация белка заключается в спонтанном или инфекционном появлении в клетке конформационно измененного белка, который далее изменяет конформацию всех вновь синтезируемых гомологичных белков по своему образу и подобию и инициирует их олигомеризацию с последующим образованием выпадающих в осадок белковых агрегатов — амилоидов. Значение работ Прузинера и его коллег подчеркивает обнаружение прионов и прионного механизма наследования у дрожжей. Разумное объяснение некоторых необычных фактов цитоплазматического наследования у них на основе прионной концепции принадлежит Р Уикнеру (1994). Последующие доказательства были получены Уикнером в США и группой исследователей кафедры генетики Санкт-Петербургского университета, открывшей ранее структурный ген для первого дрожжевого приона. Так был расшифрован новый механизм истинно цитоплазматического наследования.

В 1983 г. были получены первые растения с использованием методов биотехнологии. Показано, что по числу мутагенов именно пестициды являются основными мутагенами в сельском хозяйстве, они занимают второе место после отходов промышленности, опережая по этому показателю бытовую химию, медицину, транспорт, и «поставляют» людям 21% всех химических мутагенов. Мутагенное и канцерогенное действие пестицидов — не единственная опасность для здоровья людей, связанная с ними. Специальными исследованиями показано, что пестициды вызывают многочисленные нарушения деятельности нервной системы, органов чувств, системы пищеварения, генеративных функций.

Для трансформации растений применены гибридные Ti-плазмиды. Группы из компании «Монсанто», из Гентского государственного уни-

верситета (Бельгия) под руководством М. Ван Монтегю, из Института растениеводства им. Макса Планка в Кельне (Германия) под руководством Дж. Шелла, из Вашингтонского университета создали первые лабораторные трансгенные растения: три группы вводят гены бактерии в растения, а одна группа — ген бобов в подсолнечник. Гелиобактерии, содержащие бактериохлорофилл «г», были обнаружены Г. Гестом и Д. Фавингером в 1983 г. Генри Таубе за изучение механизмов реакций с переносом электрона, особенно комплексов металлов, был удостоен премии. Таубе и его коллеги получили комплекс технеция, который в настоящее время используется в качестве меченой молекулы в клинической радиоактивной медицине. Барбаре МакКлинток (В. McClintock) присуждена Нобелевская премия за открытие транспозирующих генетических систем через 30 лет после выполнения работы. Сделанное МакКлинток открытие предвосхитило достижения генетики бактерий и имело далеко идущие последствия: например, с помощью мигрирующих генов можно было объяснить, каким образом резистентность к антибиотикам передается от одного вида бактерий к другим [<http://n-t.ru/nl/mf/>].

В 1984 г. термин «археи» («древние существа») был предложен К. Возом взамен названия «архебактерии» («древние бактерии»). Нильсу К. Эрне (Niels K. Jerne) присуждена Нобелевская премия в знак признания влияния его теорий на разработку теории механизмов иммунного ответа. Основным вкладом Эрне в иммунологию стала теория «сетей» — это самая детально разработанная и логичная концепция, объясняющая процессы мобилизации организма на борьбу с болезнью, а затем, когда болезнь побеждена, его возвращение в неактивное состояние [<http://n-t.ru/nl/mf/>]. Георгу Кохлеру, Сезару Мильштейну (Georges J.F. Kohler и Cesar Milstein) присуждена Нобелевская премия за разработку методов создания гибридов и принципов получения моноклональных антител, а Robert Bruce Merrifield — за развитие методов органического синтеза на твердом носителе. Разработанная технология твердофазного синтеза служит ценным терапевтическим средством для лечения вирусных заболеваний и опухолей, имеет большое практическое значение для разработки новых лекарственных препаратов и для геной инженерии.

Сезар Мильштейн был удостоен премии за открытие и разработку принципов выработки моноклональных антител с помощью гибридов. Результатом стало производство моноклональных антител для диагностических целей. Началась разработка контролируемых вакцин и противоопухолевых терапевтических средств, основанных на гибридоме [<http://n-t.ru/nl/mf/>].

В 1984–1988 гг. проводится подготовка министерством энергетики США проекта «Геном человека». Главой Национального центра исследо-

ваний человеческого генома в Национальной организации здравоохранения США (NIH) с 1988 г. назначен Джеймс Уотсон.

В 1985 г. выходит в свет Красная книга РСФСР (Животные). Э. Сазерленд сформулировал новые представления о механизме регуляции биохимических реакций в клетке посредством переносчиков внешних сигналов — цАМФ. Открытие фуллеров — основы новых сверхпрочных материалов. Начало производства генно-инженерного микроорганизма, созданного для борьбы с факторами внешнего воздействия. Проект «Айс майнус» (Ice Minus) одобрен для использования в США не без серьезной полемики. Проведены первые полевые испытания трансгенных растений, устойчивых к насекомым, вирусам и бактериям. Майклу Брауну, Джозефу Л. Голдстайну (Michael S. Brown и Joseph L. Goldstein) присуждена Нобелевская премия за открытия, касающиеся обмена холестерина и лечения нарушений уровня холестерина в крови. С помощью методов молекулярного клонирования Браун и Голдстайн описали несколько генных мутаций, приводящих к семейной гиперхолестеринемии. Назначение больным таких лекарств, как компактин, мевиполин, приводит к снижению уровня холестерина в крови [<http://n-t.ru/nl/mf/>]. Херберт Хауптман награжден премией за значительные достижения по созданию непосредственных методов определения кристаллических структур. Методы дают возможность создать неограниченное количество новых лекарственных средств, например синтетические аналоги стероидных гормонов для лечения рака груди. Исследователи применили эти методы для изучения энкефалинов (естественных обезболивающих продуктов мозга). За выдающиеся достижения в разработке прямого метода расшифровки структур Джером Карле удостоен премии.

В 1985–1988 гг. А.С. Спиринов с сотрудниками разработал основы бесклеточного синтеза белка. Вышла Красная книга РСФСР (Растения). Ряд принятых Советом по патентным апелляциям Патентной службы США решений распространили правовую защиту в виде патентов на изобретения на генетически модифицированные организмы, включая растения и дикие виды животных. Патенты предоставляются на растения, семена, отдельные части растений, гены, отдельные свойства, а также некоторые биотехнологические процессы.

В 1986 г. активно исследуются вопросы ядерной зимы, озонных дыр, парникового эффекта и другие проблемы атмосферы (П. Крутсен, Н. Моисеев). Произошла чернобыльская катастрофа, крупнейшая радиационная катастрофа, заставившая человечество впервые серьезно задуматься о безопасности так называемого мирного атома. Острая лучевая болезнь была установлена у 237 пациентов, из них 29 погибли в сроки от 7 до 96 суток [Глазко и др., 2008]. Опубликован учебник «Основы генетической инженерии» (В.Н. Рыбчин). Разработана технология синтеза интерфе-

рона-альфа-2а для лечения некоторых типов лейкемии. Дж. Эдвардс, Д. Уокер изучили роль фитогормонов и в фотосинтезе С₄ и САМ- типы фиксации СО₂. Б.Ф. Ванюшин показал, что фитогормоны цитокинины (природные производные аденина) могут непосредственно включаться в ДНК растений, простейших, и предложил считать одним из механизмов молекулярного действия цитокининов модуляцию ими аденинового метилирования ДНК. Получены первые трансгенные животные, в эмбрион свиньи трансформирован человеческий ген (ген гормона роста). Становится известным неудачный эксперимент Министерства сельского хозяйства США в городе Белтсвилл (Beltsville, Md.) (шт. Мэриленд). Две особи погибают, прежде чем достигают половой зрелости, а третья парализована. Управление по разработке политики в области науки и техники (Office of Science and Technology Policy) публикует документ «Согласованная структура регулирования биотехнологии» (Coordinated Framework for the Regulation of Biotechnology Products), являющийся нормативной основой системы государственного регулирования биотехнологии в США. В США и во Франции проведены первые полевые испытания ГМ-табака, толерантного к гербицидам. Рите Леви-Монтальчини, Стенли Коэну (Stanley Cohen и Rita Levi-Montalcini) присуждена Нобелевская премия в связи с исследованиями механизмов цитодифференцировки и органогенеза. Леви-Монтальчини открыла фактор роста нервной ткани (ФРНТ), который используют для восстановления поврежденных нервов. Исследования показали, что именно нарушениями в регуляции факторов роста вызывается возникновение рака. Стенли Коэн сделал открытия, имеющие важнейшее значение для раскрытия механизмов регуляции роста клеток и органов. Коэн обнаружил эпидермальный фактор роста (ЭФР), стимулирующий рост многих типов клеток и усиливающий ряд биологических процессов. ЭФР может найти применение при пересадке кожи и лечении опухолей [<http://n-t.ru/nl/mf/>]. Руска, Г. Бинниг и Г. Рорер награждены Нобелевской премией за фундаментальные работы по электронной оптике и создание первого электронного микроскопа. За вклад в развитие новой области исследований в химии — динамики химической реакции Джон Полани награждён премией. Автор метода инфракрасной хемилюминесценции, с помощью которого измеряется и анализируется чрезвычайно слабое инфракрасное излучение только что образовавшейся молекулы, выясняется проблема высвобождения энергии в ходе химических реакций. Дадли Хершбах получил премию за фундаментальный вклад в развитие новой области — динамики химических реакций, что позволило более детально представить процесс их протекания. Совершён был своего рода революционный переворот в данном разделе науки. Были изучены, причем со значительно более высокой точностью, многие реакции с более сложным молекулярным составом.

За десятилетний период, с 1986 по 1995 г., было проведено 3647 полевых испытаний 56 сортов ГМ-растений в 18 странах мира, 1952 из них (54%) — на территории США. Коммерческими стали только восемь основных культур, на которые приходится 28% (1024) всех полевых испытаний: кукуруза — 33%; масличный рапс — 21; картофель — 11; томат — 11; соя — 9; хлопчатник — 7; табак — 5 и тыква — 3%. Основными добавленными характеристиками являются: гербицидная толерантность — 35%; улучшенные качественные характеристики — 20; инсект-устойчивость — 18; вирусная резистентность — 11; устойчивость к грибковой инфекции — 3 и др. (маркерные и селективные гены, устойчивость к бактериям и нематодам) — 13%.

В 1986 г. появилась в продаже первая вакцина, полученная методами генной инженерии (от гепатита В); первое противораковое лекарство, полученное методами биотехнологии (интерферон) [Глазко, 2011].

В 1987 г. родился первый трансгенный теленок молочно-мясного типа. С. Тонегаве (Susumu Tonegawa) присуждена Нобелевская премия за открытие генетического принципа генерирования разнообразия антител. Американский генетик М. Олсон (Olson, Maynard Victor, Washington University) сконструировал новый тип экспрессирующего вектора — «искусственные дрожжевые хромосомы» (yeast artificial chromosomes), предназначенные для клонирования больших фрагментов ДНК. Компания «Калджин» (Calgene, Inc.) патентует модифицированный ген томата, подавляющий экспрессию антисмысловой полигалактуроназной РНК, что позволяет отсрочить срок созревания плодов.

В 1987–1989 гг. в лаборатории В. Геринга был разработан метод трансформации, позволяющий выявлять гены, вовлеченные в развитие. Китай стал первой страной, которая начала продавать ГМ сельскохозяйственные культуры, а именно устойчивый к вирусам табак и томаты.

В 1988 г. опубликована статья Дж. Кэрнса, Дж. Овербаха и С. Миллера «Происхождение мутантов», в ней авторы в серии экспериментов с мутантными клетками *E. coli*, неспособными использовать лактозу в качестве источника углерода (фенотип Lac⁻), установили, что скорость образования ревертантов в том случае, если мутантные бактерии инкубировали в чашках в присутствии лактозы, значительно превышала ожидаемую из случайного возникновения обратных мутаций в стационарной бактериальной культуре. Авторы сделали вывод о том, что селективные условия (присутствие неусваиваемой лактозы в качестве единственного источника углерода) оказывают влияние на спектр мутаций, возникающих у бактериальных клеток. Описана асимметричная ПЦР, в которой происходит амплификация однонитевой ДНК. В.И. Глазко выдвинута гипотеза о наличии субгенома у доместифицированных животных, благодаря чему селекционный процесс является реорганизацией

стабилизированных ранее взаимосвязей и признаков. Американский исследователь Крейг Вентер и его фирма «Celera Genomics» запустили более быстрое и дешёвое секвенирование человеческого генома, финансируемое частным капиталом. Выдан патент США на линию мышей с повышенной частотой возникновения опухолей, полученную генно-инженерными методами. Gallo и Montagnier доказали, что ретровирусы человеческого иммунодефицита *HIV-1* и *HIV-2* вызывают синдром приобретенного иммунодефицита (AIDS), за что были позднее удостоены Нобелевской премии. Дж. Блеку, Дж. Хитчинсу, Гертруде Элайон (Sir James W. Black, Gertrude B. Elion и George H. Hitchings) присуждена Нобелевская премия за достижения в области изучения молекулярных механизмов эффективности ряда фармакологических препаратов и Johann Deisenhofer, Robert Huber и Hartmut Michel — за определение трехмерной структуры фотосинтетического реакционного центра. Созданы международные компьютерные сети Интернет.

В 1990 г. выпущен первый пищевой продукт, модифицированный методом биотехнологии (фермент, применяемый при изготовлении сыра), который был разрешен для использования в США. Генетическую модификацию используют для создания химозина — фермента, который применяется в производстве твердого сыра. Официально начаты работы над проектом «Геном человека». Происходит смена менделевской парадигмы за счет выделения Р. Холлидеем (R. Holliday) двух типов наследственности: нормального менделевского наследования и нового типа — эпигенетического наследования, подчиняющихся совершенно разным законам. Установлено, что у человека фактор *TDF* (*testis-determining factor*) — это не что иное, как ген *SRY* (*Sexdetermining Region Y gene*), который располагается в коротком плече *Y*-хромосомы во фрагменте длиной 35 т.п.н. Разработана технология синтеза интерферона-гамма-1в для лечения хронической гранулемы; тканевого активатора плазминогена при острой эмболии легких; вакцины против гепатита В. Б.Г. Холл для объяснения адаптивных мутаций разработал модель, в соответствии с которой в популяции голодающих микроорганизмов часть клеток находится в состоянии повышенной мутабельности. Среди этих клеток выживают лишь мутанты, максимально соответствующие требованиям окружающей среды. Джозефу Муррею, Томасу Доннальду (Joseph E. Murray и E. Donall Thomas) присуждена Нобелевская премия за открытия в области трансплантации, благодаря которым трансплантация органов и клеток стала методом лечения человека. Созданы системы мобильной телефонной связи. Элементарные частицы оказались вовсе не элементарными (М. Гелман).

В 1992 г. в Рио-де-Жанейро (Бразилия) собралась Вторая Международная конференция ООН по окружающей среде и развитию, в которой

приняли участие 179 государств; были разработаны основные принципы взаимодействия человеческого общества и природы на XXI в. Рассмотрено развитие концепции устойчивого развития, принципы которой были представлены на конференции («Agenda-21»), где высказана озабоченность «проблемой увековечения диспропорций как между странами, так и в рамках отдельных стран, обостряющимися проблемами нищеты, голода, ухудшения здоровья населения и неграмотности и продолжающимся ухудшением состояния экосистем, от которых зависит наше благосостояние...», принято решение об образовании Международного зеленого креста (МЗК). Принят Закон Российской Федерации «Об охране окружающей природной среды». Эдвину Кребсу, Эдмонду Фишеру (Edmond H. Fischer и Edwin G. Krebs) присуждена Нобелевская премия за открытие обратного фосфорилирования белков как регулирующего механизма клеточного метаболизма. Американский физиолог Дж. Диамонд опубликовал книгу, в которой даже назвал человека «третьим видом шимпанзе» ввиду их огромного сходства по молекулярным и поведенческим признакам. Подобные выводы базируются на переоценке молекулярных данных и недоучете морфологических различий. Морфологическая эволюция предков человека шла более быстрыми темпами, чем молекулярная, что возможно, когда эволюционные изменения обусловлены мутациями регуляторных, а не структурных генов. Дж. Харлэн (Harlan, J.M.), развивая идеи Н.И. Вавилова, создал классификацию культурных растений соответственно их центрам происхождения и распространения. Администрация США по контролю над пищевыми продуктами и лекарственными препаратами постановляет, что продукты питания, полученные с использованием биотехнологических методик, должны регулироваться тем же самым способом, что и полученные с использованием традиционных методик.

В 1994 г. на рынок выходят FLAVR-SAVR-помидоры — первый коммерческий пищевой продукт, полученный с использованием биотехнологических методик.

В 1995 г. в практику вводится первый сорт сои, полученный при помощи биотехнологии. На рынок США выходит Vt-кукуруза (кукуруза, модифицированная при помощи гена бактерии с целью увеличения устойчивости растения к насекомым-вредителям). Фирма «Asgrow» получила разрешение выпустить на рынок тыкву, несущую сразу два новых гена, кодирующих устойчивость к двум разным вирусам (и генмаркер, как и все трансгенные растения). Компания «Calgene» получила разрешение в США на выращивание и коммерческое использование трансгенных растений рапса с измененным жирокислотным составом. Начаты исследования по созданию трансгенных растений с заданным аминокислотным составом. Эдварду Б. Льюису, Христиану Нюслейн-Фоларду, Эрику Ф. Вишаусу

(Edward B. Lewis, Christiane Nusslein-Volhard и Eric F. Wieschaus) присуждена Нобелевская премия за открытие, касающееся «генетической регуляции раннего эмбрионального развития».

В 1996 г. ежегодный объем продаж первого рекомбинантного белка (эритропоэтина) превысил 1 млрд долл. Это первый год масштабного культивирования ГМ-культур, которые выращиваются в 6 странах на общей площади 1,7 млн га. В Великобритании одобрили ГМ-томатную пасту, в ЕС одобрены первые ГМ-соевые бобы, устойчивые к гербицидам (Раундап Реди Сойбинд), и устойчивая к вредителям кукуруза. В соответствии с рекомендациями Международной Конференции ООН по окружающей среде и развитию 1992 г. в Рио-де-Жанейро разработана «Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию» — программный документ, утвержденный Указом Президента РФ 1 апреля 1996 г. На основе «Концепции» будет разработана стратегия перехода России к устойчивому развитию, которое должно обеспечить нормальное существование нынешнего и будущего поколений населения России. Питеру К. Доэрти, Рольфу М. Цинкернагелю (Peter C. Doherty и Rolf M. Zinkernagel) присуждена Нобелевская премия за «открытие того, как иммунная система распознает клетки, инфицированные вирусом».

В 1997 г. американское правительство одобряет 18 разновидностей зерновых, полученных с использованием биотехнологий. В фирме «Монсанто» («Monsanto») выведен генетически измененный картофель с геном *bt*, продукт которого несъедобен для ряда видов насекомых — вредителей картофеля. Опубликована в «Анналах ботаники» итоговая статья Бориса Багратовича Вартапетяна «Plant adaptation to anaerobic stress» («Адаптация растений к анаэробнобиозу»). Разработана технология синтеза тканевого активатора плазминогена при острых приступах ишемической болезни сердца или спазмах сосудов головного мозга; человеческого гормона роста для лечения недостатка в росте, связанного с синдромом Тернера; пульмозима для лечения запущенных форм муковисцидоза. Разработана технология синтеза ритуксана для лечения пациентов с лимфомой Ходжкина; гормона роста для лечения дефицита гормона роста у взрослых при карликовости. Приобретает силу Директива ЕС о новых продуктах (258/97), которая требует оценки уровня безопасности новых и ГМ-продуктов, перед тем как они поступают в продажу. В США принята Резолюция о защите диетических прав американских евреев, в которой подчеркивается, что «искусственная передача генетического материала между видами, в природе не скрещиваемыми, является серьезным нарушением божьего закона... Поскольку большинство видов насекомых и животных — некошерны, то таким же будет большинство продовольственных товаров из трансгенных растений». Это положение является в основном причиной формирования отрицательного мнения у религиозной еврей-

ской общественности. Вместе с тем у различных религиозных конфессий отсутствует единое мнение на этот счет. Открыт апоптоз у растений и описаны характерные его черты (Б.Ф. Ванюшин). Он выявлен в первом листе и колеоптиле у очень молодых проростков пшеницы. Таким образом, установлено, что, подобно животным, апоптоз является обязательным интегральным элементом развития растения. Апоптоз у растений сопровождается фрагментацией яДНК и интенсивным синтезом митохондриальной ДНК, а так же фрагментацией цитоплазмы с возникновением в их вакуолях везикул с усиленной репликацией мтДНК. Это может эффективно контролироваться антиоксидантами (ионол) и фитогормонами (абсцизовая кислота). Исследователи из Института Рослина (Шотландия) (Scolland's Roslin Institute) сообщили о клонировании первого млекопитающего — овцы Долли. Генетически модифицированные сельскохозяйственные культуры выращиваются в семи странах на общей площади 11,0 млн га (soя — 5,1 млн га (46%), кукуруза — 3,2 млн га (30%), хлопчатник — 1,4 млн га (13%)) — это 7-кратный прирост по сравнению с предыдущим годом. Успехи в изучении молекулярных механизмов трансформации энергии в живых организмах дали начало новой концепции биохимии — концепции «белок — машина». Как показали нобелевские лауреаты по химии за 1997 г. П. Бойер, Дж. Уолкер и Й. Скоу, белковые системы обладают всеми атрибутами молекулярных машин. Перспективы освоения новой области биохимии сулят революцию в химических технологиях. Различные уровни организации живых организмов через системы регуляции вовлечены в процесс индивидуального развития. Системы коммуникации занимают в метаболизме особое место. Передача управляющего сигнала в клетке осуществляется химическими сигналами — химическими соединениями различной природы с уникальной структурой, отличной от соединений энергетического метаболизма. Различают первичные сигналы (к ним относятся гормоны) и вторичные, внутриклеточные сигналы. Стенли Прузинеру (Stanley B. Prusiner) присуждена Нобелевская премия за открытие прионов — нового биологического принципа инфекций. Paul D. Boyer, John E. Walker и Jens C. Skou получили Нобелевскую премию за расшифровку энзиматического механизма синтеза аденозинтрифосфата и открытие ионтранспортирующего фермента — Na⁺ + K⁺ + АТФаза.

В 1999 г. создан сорт — «золотой» рис, обогащенный каротином, для профилактики слепоты у детей развивающихся стран. В 2000 г. создан Совет по вопросам информации в области биотехнологий.

Началом полоноразмерных геномных исследований можно считать 1995 г. В 1995 г. полностью понуклеотидно прочитан (секвенирован) геном *Haemophilus influenzae* [Р.Д. Флейшманн и соавт., 1995, DOI: 10.1126/science.7542800]. С этого начался процесс секвенирования геномов разных

видов. В XXI в. расшифрованы геномы других бактерий и грибов, а также пшеницы, риса, кукурузы, мыши и других объектов и, главное, человека. Многие фармацевтические и биотехнологические фирмы ведут секвенирование геномов продуцентов, возбудителей ряда заболеваний и др., но свои данные засекречивают. Считается, что в работе сейчас несколько сот геномов разных видов. В целом это направление теперь называют геномикой. Это, вероятно, одна из главных точек роста современной молекулярной генетики.

Интересны эволюционные аспекты излагаемой концепции организации геномов. Во-первых, лимитирующие менделевские гены непосредственно проявляются в признаках, т.е. оцениваются отбором. Нелимитирующие менделевские гены (полигены) в малой степени влияют на признак (хотя и необходимы для его формирования), а потому фактически находятся в нейтральном режиме эволюции, пока не станут лимитирующими. Поэтому каждый ген лишь малую часть своей эволюционной истории проводит в адаптивном режиме эволюции, в остальном его эволюция нейтральна. Во-вторых, популяции, попадая в стрессовые внешние и внутренние ситуации, способны ответить на них вспышками регуляторной изменчивости через массовую в популяции и множественную в геноме индукцию транспозиций мобильных генетических элементов (МГЭ). Этот источник изменчивости очень важен для быстрой реорганизации геномов. В-третьих, если правильно все предыдущее, то современные геномы содержат свидетельства прежних перемещений копий МГЭ, приведших к регуляторным изменениям проявления некоторых генов. Действительно, американский генетик Р. Бриттен, проанализировав секвенированные последовательности ДНК в окрестностях многих известных генов животных, обнаружил до 10 примеров, когда работающие знаки управления были окружены «руинами» предковых копий МГЭ. У растений число таких примеров достигает сотен.

Таким образом, генетический материал генома пришлось разделить на две сопоставимые части: 1) устойчивую — совокупность устойчивых генов и других элементов генома и 2) подвижную — совокупность копий МГЭ генома, способных к перемещениям со всеми вытекающими отсюда генетическими последствиями (мутациями генов, перестройками и т.д.).

Поскольку МГЭ оказались подвижными, сразу же возник вопрос об их роли в геноме. В 1980 г. Дулиттл и Сапиенца и параллельно Орджел и Крик высказали гипотезу об «эгоистичной ДНК», согласно которой МГЭ являются «геномными паразитами», «бродягами», которые самостоятельно перемещаются в геноме, наследуются вместе с другими генами генома и, внедряясь в функционирующие гены, способны вызывать их мутационные нарушения.

Дрозофила оказалась очень удобным объектом для исследования МГЭ. Международная программа полного секвенирования генома дрозофилы представила к 2000 г. полную последовательность ДНК. Если исключить прицентромерный гетерохроматин, то гаплоидный геном дрозофилы содержит $\sim 1.2 \cdot 10^8$ н.п. ДНК, в том числе $\sim 13\,600$ локализованных генов [Adams et al., 2000], кодирующих различные типы РНК и белков.

Для многих секвенированных генов известны их функции или сходство с известными функционирующими генами, часто известны их механизмы управления, выявлены их белковые продукты и т.д. *В общем, гены можно разделить на уникальные — они встречаются в геноме один-единственный раз (в крайнем случае, в виде очень небольшого числа копий) — и множественные. Последние повторяются десятки, сотни раз.* Обычно они группируются в каком-нибудь одном участке ДНК. Их роднит то, что они «знают» свое место, имеют точный адрес. Другие «подвижные» гены открыла американская исследовательница Барбара МакКлинток. Еще в 40-е гг. прошлого века, изучая кукурузу, она получила в ней ряд мутаций, которые объясняла наличием генных элементов, меняющих свое место от растения к растению. Мысль о «подвижной» генетике была настолько революционной, что к ней отнеслись с большим недоверием, эти соображения просто игнорировали. И только в 1983 г. МакКлинток была удостоена за свое открытие Нобелевской премии. Долгое время полагали, что «подвижные» гены — удел лишь растений да бактерий, что геномы животных и человека все-таки стабильны. И с этой догмой пришлось расстаться. В 1977 г. в американском журнале «Science» было опубликовано сообщение группы советских ученых (возглавлял ее заведующий лабораторией биосинтеза нуклеиновых кислот Института молекулярной биологии Академии наук СССР академик Георгий Павлович Георгиев) о том, что у дрозофилы также имеются подвижные гены.

Г.П. Георгиев и его сотрудники назвали такие гены мобильными диспергированными генами, сокращенно МДГ, или мобильными генетическими элементами — МГЭ. Группа же американских исследователей, возглавляемых Д. Хогнессом (Станфордский университет, штат Калифорния, США), подтвердившая в 1979 г. открытие советских ученых, использовала в обозначениях более поэтические названия: «сориа» (копия), «гурсу» (цыган), «Beagle» (ищейка) (в честь корабля «Бигль», на котором совершил свое знаменитое путешествие Чарльз Дарвин), «гоо» (крошка Ру из «Винни-Пуха») и т.д.

Таким образом, общими усилиями многих ученых совершен переход из мира генного постоянства к генетике «подвижного» генома, прорыв в стихию генетической и геномной нестабильности.

Фрэнсис Крик еще раз отличился и выказал свою ярко выраженную способность в понимании чужих экспериментов. Он предположил, что «прыгающие» гены являются «эгоистической» ДНК. Этот термин был предложен ранее для обозначения частей ДНК, которые не выполняют полезные для клетки функции, но, тем не менее, в ней присутствуют.

«Прыгающие» гены — особые генные образования, находящиеся с полезной ДНК хозяина в симбиозе, считал Крик. Они не вредят клетке, но и пользы никакой ей не приносят. Это некий генетический балласт (некоторые МДГ с помощью скрещиваний удастся удалить из организма, и это, вроде бы, никак не сказывается на его жизнеспособности), от которого трудно избавиться. Гены-«эгоисты» не кодируют синтез какого-либо белка, они заняты только проблемой самосохранения, размножения и перетасовки генетического материала. Такие представления преобладали прежде. Теперь они начинают меняться. Подвижные элементы представляют собой автономные единицы в нуклеотидной последовательности, в которых заключена информация о структуре специализированных белков, обеспечивающих их перемещение. Такое перемещение (или транспозиция) достигается за счет специфического взаимодействия соответствующего белка с концевыми последовательностями перемещаемого элемента. Процесс транспозиции можно разделить на два этапа. На первом этапе нуклеотидная последовательность концевых участков подвижного элемента соединяется с ДНК-мишенью, специфически расщепленной на участке встраивания. На втором этапе происходит репликация подвижного элемента, не сопровождающаяся репликацией ДНК, в которую происходит встраивание. Таким образом, одна копия подвижного элемента оказывается включенной в ДНК-мишень, а другая сохраняет свою прежнюю локализацию. При этом обычно происходит дупликация небольших участков последовательности ДНК-мишени (по 5–9 п.н.) в примыкающих к каждому из концов встроившегося элемента. Для подвижных элементов различного типа порядок реализации этих этапов может быть различным. Был предложен целый ряд возможных механизмов транспозиций. Следует отметить, что в рамках таких механизмов удовлетворительное объяснение должны найти самые разнообразные явления, так или иначе связанные с транспозицией.

Транспозоны и клетки-хозяева рассматривают как отдельные взаимодействующие единицы, причем клетка-хозяин предоставляет среду обитания чужеродной ДНК транспозона. Но часто транспозоны столь тесно связаны с хозяйским геномом системами транскрипции, трансляции и т.п., что проводить подобные разграничения затруднительно. Более того, транспозоны представляют собой настолько неотъемлемую часть геномов высших эукариот, что представить эволюционные последствия их внезапного исчезновения практически невозможно.

Одним из основных вопросов, на который до сих пор нет ответа, остается вопрос о том, каким образом транспозоны (ТЕ) столь основательно закрепились в геноме высших эукариот. Известно, что у прокариот ТЕ обычно не формируют стабильных связей с хозяйским геномом. У низших эукариот с упрощенными геномами темп размножения ТЕ сравнительно невысок, они обычно находят «безопасные» для встраивания места, где не приносят заметного вреда хозяину. Однако с увеличением размера генома увеличивается и содержание в нем ТЕ.

В последние годы все большее подтверждение получает гипотеза о том, что благодаря перемещающимся элементам генофонды всех живущих на Земле организмов оказываются объединенными в общий генофонд всего живого мира. Возможно, что транспозоны объединяют между собой разошедшиеся еще десятки миллионов лет назад виды в единую генетическую семью.

Итак, в последнее двадцатилетие XX в. человек знал о языке генетической программы, управляющей развитием организма, и об устройстве тех систем и клеток, которые эту информацию считывают и воплощают в материальные структуры клетки и организма достаточно много, чтобы задуматься о возможности самому попытаться изменить эту программу, переписать ее содержание, самому сконструировать новые организмы с комбинацией признаков, которая не существует в природе. В сущности, это и означает, что мы подошли к рубежу, когда можем управлять эволюцией — возникновением новых живых организмов.

Вначале генетики думали, что постоянство — это особое свойство генов, которые не подвержены никакому влиянию внешних воздействий. Но тогда, спрашивалось, как же можно было совместить с этим огромную гибкость, подвижность, удивительную приспособляемость, явную тягу живой материи к обновлению? Двунитчатость ДНК необходима не только для создания идентичных копий генетического материала, но и для сохранности записанной в ДНК информации, ибо повреждения редко затрагивают *сразу две* спирали. И целостность второй, неповрежденной спирали позволяет тут же начать ремонтные работы. Ключевыми генами этой системы репараций являются особые белки-ферменты, названные рестриктазами и лигазами. Рестриктазы рвут, разрезают последовательность букв в ДНК, но делают это не как попало, а лишь в тех местах, где имеется сочетание строго определенных генных букв, узнаваемых только данной рестриктазой. Арсенал рестриктаз постоянно пополняется и, благодаря открытиям ученых, включает уже более 400 наименований. Любопытно, что рестриктазы открыли, в известной мере, случайно, ища ответ на совершенно другой вопрос: как клетке удастся расправиться с проникшими в нее вместе с бактериями или вирусами чужеродными ДНК [Глазко, Чешко, 2007]?

Ферменты лигазы обеспечивают сшивание частей ДНК, восстановление ее целостности.

Именно эти принципы и являются основными в современной генной инженерии.

Благодаря развитию молекулярной генетики созданы методы генной инженерии и современных ДНК-технологий, использование которых у животных и растений наиболее широко применяется в следующих направлениях:

1) ДНК-технологии для управления потоком генетического материала (селекция с помощью молекулярно-генетических маркеров — MAS, в этих целях — картирование, маркирование главных генов количественных признаков — QTL); сохранение биоразнообразия с использованием молекулярно-генетических маркеров; разработка генетически обоснованных программ разведения и подбора родительских форм организмов с учетом данных экологической генетики;

2) ДНК-технологии для создания новых форм организмов (ГМО) в целях получения «биореакторов» (продуцентов терапевтически важных для человека белков), изучения генетических механизмов развития и предупреждения различных заболеваний (онкопатологий, устойчивости к канцерогенезу, различных моно- и полигенных генетически детерминированных заболеваний, повышения эффективности ксеногенной трансплантации органов, генной терапии при использовании трансгенных соматических клеток), а также для фундаментальных исследований структурно-функциональной организации генетического материала, межгенных взаимодействий (создание генных конструкций с включением структурно-функциональных элементов и анализ их регуляторных эффектов на экспрессию различных генов);

3) ДНК-технологии для направленного получения и размножения желательных генотипов — использование стволовых эмбриональных клеточных линий, направленная модификация определенных генов вплоть до получения «нокаутных» (с «выбитым геном») организмов, деление ранних эмбрионов на бластомеры и их трансплантация реципиентам — по сути, получение однояйцовых близнецов — и трансплантация ядер бластомеров и соматических клеток в яйцеклетки.

Кроме того, появилась и бурно развивается генная терапия наследственных болезней, производство генетически измененных форм растений, успешное соматическое клонирование млекопитающих (овца Долли), появление молекулярной палеогенетики — впечатляющие реалии современной науки. ДНК-технологии с ясностью их методов, задач и публичной эффективностью успехов трансформировали облик генетики и современного общества.

К настоящему времени благодаря ДНК-технологиям и биоинформатике выяснены функции многих простых и сложных биомолекул; при

этом главными достижениями являются установление информационной роли ДНК и расшифровка механизма передачи информации от ДНК к белку. Выделены главные органеллы клеток животных и растений, установлены их основные функции. Получены в высокоочищенном виде многие ферменты, охарактеризованы механизмы регуляции их активности. Изучены формы запасаения и использования энергии. Достигнуты существенные успехи в изучении структуры и функции мембран. Выяснено действие главных гормонов. Установлены биохимические нарушения, лежащие в основе ряда заболеваний.

Современные ДНК-технологии и биоинформатика — генная инженерия по своей сути не является чем-то качественно отличающимся от естественных процессов, чем-то чужеродным для живых объектов, как, например, получение искусственно синтезированных химических соединений, отсутствующих в природе, а наоборот, представляет собой повторение подсмотренных в природе приемов [Глазко, Чешко, 2007].

Получение трансгенных растений ныне превратилось в довольно рутинную технологию решения практических задач, которыми занимаются как научные учреждения, так и коммерческие фирмы.

В настоящее время у 120 видов растений существуют свои трансгенные формы. Разрешено использование трансгенных сои, кукурузы, хлопка, рапса, картофеля, томатов, свеклы, тыквы, табака, папайи, льна; заканчиваются испытания трансгенного риса и пшеницы. Трансгенные растения выращиваются во многих странах мира: США, Китае, Аргентине, Канаде, Австралии, Мексике, Испании, Франции, Южной Африке и др. В 2016 г. ими была занята площадь около 180 млн га. Это дает шанс для выживания более 2 млрд жителей Земли [Шумный, 2001 (<http://do.gendocs.ru/docs/index-206460.html>)].

За счет выращивания растений на суше производится 93% продуктов питания. Агрэкосистемы стали важнейшими цехами для производства продовольствия для человечества. Пищевые, кормовые, прядильные, медоносные, лекарственные, красильные, технические виды культивируемых растений стали основными источниками белков, жиров, углеводов, витаминов в питании человека и сырья для промышленности. Словами Н.И. Вавилова (1932), можно сказать, что земледелие превратилось в «основную индустрию человечества».

Резервных площадей для производства продовольствия и экстенсивного развития отрасли практически нет, весь необходимый прирост продукции возможен лишь за счет интенсификации производства. Народонаселение Земли быстро увеличивается, поэтому и необходимо увеличить потребность в продуктах питания к 2025 г. минимум в два раза.

С использованием трансгенных растений были решены такие проблемы, как гербицидоустойчивость, устойчивость к насекомым, вирусам, грибковым и бактериальным заболеваниям, регуляция сроков созревания, повышение общей продуктивности, съедобные вакцины. Сегодня выращивается 71% трансгенных растений, устойчивых к гербицидам, 22% — к вредителям и 7% — к гербицидам и вредителям (в основном соя, кукуруза, хлопок, рапс). Идет поиск подходов к резкому повышению продуктивности растений [Шумный, 2001, Глазко, 2002].

Считается, что трансгеноз у растений и животных — наиболее перспективная биотехнология для решения продовольственной и медицинской проблем на ближайшее десятилетие. Трансгенные животные — козы, овцы, свиньи, коровы — используются для секреции под управлением «генов молока» высокоактивных биологических веществ для медицины и фармакологии. Уже прошли лицензирование и поступили на рынок полученные через трансгенных животных антитрипсин, применяемый при легочных заболеваниях, антитромбин III — для предотвращения инфарктов и инсультов; факторы свертываемости крови, белок С, обладающий защитными функциями, и ряд других [В.К. Шумный, 2001, Глазко, 2002, 2010, 2016].

Так как трансгенные растения устойчивы к болезням и вредителям, не исключается повышение устойчивости самих возбудителей болезней и тех же насекомых-вредителей, т.е. их коэволюция. Это вторая проблема, последствия которой необходимо предвидеть. Возможно, что, создавая устойчивость у растений, мы стимулируем процесс отбора более устойчивых возбудителей и вредителей. Естественно, трансгеноз вызывает весьма ощутимые последствия, которые нужно тщательно изучать [Шумный, 2001 (<http://do.gendocs.ru/docs/index-206460.html>)].

Если внимательно присмотреться, то можно заметить, что все в нашей жизни и чуть ли не все технологические чудеса основаны в конечном счете на достижениях фундаментальной науки, т.е. на вроде бы не имеющих явных прикладных аспектов результатах, которые интересны разве что для окончательно оторвавшихся от жизни и народа теоретиков. Но, как оказалось, вчера — отвлеченный интерес, сегодня — самый что ни на есть прикладной.

Новое достижение геномики — науки, изучающей структуры и функции геномов живых организмов, — удалось найти удивительно изящный и эффективный подход к изучению и пониманию жизни. Главное, что инженерный подход к сборке клетки почти ничем не отличается от сборки компьютера. Во-первых, нужно иметь схему материальной «начинки» прибора и схему его работы, и этим занимается генная инженерия и ДНК-технология. Принцип «сделать, чтобы понять» обычно работает на достаточно простых устройствах, содержащих минимальное количе-

ство деталей. Одна из простейших биологических машин, выявленных генетиками, — одноклеточный микроорганизм — микоплазма.

При прогнозировании последствий использования новых технологий необходимо исходить из существования двух основных предпосылок развития опасных природных явлений: исторической (эволюционной) и антропогенной. В основе первой предпосылки лежат эволюционные процессы развития Земли, приводящие к непрерывной реорганизации вещества в твердой, жидкой и газообразной оболочках Земли с выделением и поглощением энергии, изменению напряженно-деформированного состояния земной коры и взаимодействия физических полей различной природы. Происходящие процессы стали фактором глобальной геодинамики Земли — развития эндогенных, экзогенных гидрологических и атмосферных явлений [Глазко, Чешко, 2007].

Необходимы новые подходы, объединяющие биологические и экологические процессы в производстве пищевых продуктов, минимизирующие использование тех невозобновляемых ресурсов, уменьшение которых наносит ущерб окружающей среде или здоровью фермеров, заменяющие человеческим капиталом дорогостоящие внешние ресурсы, увеличивающие эффективность использования коллективных мощностей людей в их сотрудничестве, решении общих проблем оптимизации использования сельскохозяйственных и природных ресурсов, особенно для защиты от вредителей, использования ирригации, сохранения лесов и управления финансовыми потоками. Эти принципы помогают создавать новый капитал сельскохозяйственной системы: природный, социальный, человеческий, физический и финансовый. Улучшение природного капитала является центральной целью, наибольшие дивиденды могут быть получены из использования лучших генотипов зерновых культур и животных и экологических условий, при которых возможно их выращивание. Устойчивость агросистем предполагает необходимость сосредоточиться на усовершенствовании генетических ресурсов сельскохозяйственных видов с использованием всего спектра современных биологических подходов при увеличении понимания выгод поиска новых управленческих решений, модернизации приемов контроля экологических и сельскохозяйственных систем. Развитие экологических подходов к управлению агроэкосистем, контролю энергетических потоков может привести к модернизации сельского хозяйства в макроландшафтных масштабах.

Следует отметить, что «ГМО» — сокращение от «генетически модифицированный организм», это не научный термин. Он широко используется в СМИ для обозначения растений и животных, улучшенных с использованием современных методов биотехнологии, отличающих их от традиционных растений и животных, используемых в сельском хозяйстве. Организация по продовольствию и сельскому хозяйству при ООН (Food

and Agriculture Organization — FAO) дает для таких организмов следующее определение.

Генетически измененные организмы и их продукты, полученные с использованием технологий, благодаря которым генетический материал был изменен таким путем, который отсутствует в генетических изменениях, возникающих в результате естественных событий при скрещиваниях или естественных рекомбинациях.

Но нет «ГМО» и ни одного живого организма, соответствующего этому описанию. Генетическая модификация является существенной чертой всего живого на Земле. Каждый ГМО из когда-либо созданных получен с помощью ферментов и методов, обнаруженных исследователями в живой природе. Генные инженеры придумали свои методы, изучая природный мир, поняв его некоторые черты и научившись ему подражать. Так, например, исследователи обнаружили, что перемещение генов между различными родами является обычным и повсеместным явлением. Мы обнаруживаем это в организмах, таких как кукуруза и сладкий картофель, с которым мы очень хорошо знакомы, и этот механизм работает так, как мы никогда ранее не представляли. Это, собственно, особенность и нашего собственного, человеческого генетического кода. Мы все «ГМО», как и каждый организм на Земле.

Этот факт имеет важные последствия. Из него следует, что все усилия, направленные на то, чтобы отличить «ГМО» от других организмов, являются по существу неверными. Это также означает, что правительственное регулирование «безопасности», направленное на ГМО, в отличие от «без ГМО» научно несостоятельно и основано на полном непонимании биологии. Оно тоже нелогично по другой, очень важной причине.

Государственное регулирование безопасности новых сортов культур и пород скота по всему миру, как правило, не рассматривает новые сорта, произведенные с использованием традиционных методов селекции или гибридизации. Оно часто выбирает для регулирования безопасности вместо этого (по крайней мере, в странах Европейского Союза и близких к нему в соответствии с требованиями «Гринпис») именно сорта и породы, полученные с использованием биотехнологических методов, несмотря на то что это не имеет абсолютно никакого научного смысла и является, таким образом, нарушением согласованных ВТО правил международной торговли. Почему это научно бессмысленно? В качестве примера можно сравнить традиционные и генно-инженерные методы получения новых форм.

Точечные генетические модификации добавляют только один или два гена, структура и функция которых известны и понятны для известных форм и функций в модифицируемом сорте или породе скота. Это делает саму модификацию достаточно простой для того, чтобы выявлять и устра-

нять любые неожиданности, которые могут возникнуть, значительно повышая безопасность и самого процесса, и продукта. При традиционной селекции, напротив, невозможно избежать передачи новых сотен и тысяч посторонних генов (аллелей) вместе с теми, которые представляют интерес, а иногда утраты целых хромосом. Это значительно увеличивает потенциал для неожиданностей, некоторые из которых могут фактически представлять опасность. Вот почему, например, после финансирования 130 научно-исследовательских проектов в течение более чем 25 лет по более чем 500 независимым исследовательским группам Европейским Союзом пришли к выводу, «что биотехнологии и, в частности, ГМО как таковые не более рискованы, чем, например, обычные селекционные технологии».

Мощь современной высокоточной селекции дополнительно усиливается тем, что биотехнологи могут добавлять гены полезных признаков (устойчивость к болезням или вредителям; улучшение пищевых добавок и т.д.) практически из любого другого организма (что свидетельствует об очень реальной важности биоразнообразия дикой природы и усиливает аргументы в пользу необходимости его сохранения). Это отличает биотехнологические методы от традиционной селекции, в которой можно использовать только те гены (аллели), которые уже существуют в многообразии культур, представляющих интерес, или в тесно связанных, совместимых для скрещивания сортах.

Иными словами, истина о ГМО противоположна тому, что можно подумать, читая популярные СМИ. Они производятся с использованием более точных, предсказуемых и управляемых методов, чем традиционные, которые принято считать безопасными. Как мы видим, они столь же безопасны и даже более того, чем традиционные альтернативные методы и средства. Они более эффективны и, следовательно, лучше для окружающей среды, чем конкурирующие приемы, в том числе и органические. Накопленные данные свидетельствуют о том, что они могут быть одним из очень важных ключевых подходов к обеспечению более «зеленого», более устойчивого будущего.

Норман Борлоуг в 2009 г. писал следующее: «Нам нужна смелость лидеров тех стран, где для фермеров все равно нет выбора, и они вынуждены использовать более старые и менее эффективные методы. Зеленая революция и в настоящее время биотехнологии растений помогают удовлетворить растущий спрос на производство продуктов питания при сохранении окружающей среды для будущих поколений» (отчет ISAAA 2009).

В 2016 г. исполняется 30 лет со дня учреждения Всемирной продовольственной премии покойным лауреатом Нобелевской премии мира доктором Норманом Э. Борлоугом, автором «зеленой революции». Всемирная продовольственная премия — наиболее известная мировая награда для исследователей, лидирующих в борьбе с голодом и обеспечении гло-

бальной продовольственной безопасности. В этом году призовой фонд 250 тыс. долл. будет разделен поровну между четырьмя получателями.

Доктора Мария Андраде, Роберт Мванга, Ян Лоу и Ховарт Боус, ученые, способствовавшие улучшению здоровья 10 миллионов сельских бедных жителей в Африке, Азии и Латинской Америки, 28 июня 2016 г. были награждены Всемирной продовольственной премией, которую им вручили во время торжественной церемонии в Государственном департаменте США.

Представитель администрации США Гейл Смит в своем приветственном слове подчеркнул, что: «эти четыре выдающихся лауреата Всемирной продовольственной премии доказали, что, самоотверженно решая научные задачи, можно изменить жизнь миллионов людей».

Три лауреата 2016 г. — доктора Мария Андраде и Роберт Мванга создали трансгенный сладкий картофель с оранжевой мякотью, обогащенный витамином А, а доктор Ян Лоу разработал программы питания, которые убедили около 2 млн домохозяйств 10 отдельных африканских стран приобретать и потреблять эту полезную продукцию.

Доктор Ховарт Боус, основатель программы УрожайПлюс в Международном исследовательском институте продовольственной политики (International Food Policy Research Institute — IFPRI), в течение 25-летнего периода был пионером в реализации мультиинституционального подхода в качестве глобальной стратегии селекции растений. В результате его руководства культуры, такие как обогащенные железом и цинком бобы, рис, пшеница и просо, наряду с обогащенной витамином А маниокой, кукурузой, проходят испытания или же уже используются в более чем 40 странах.

За последние 19 лет, с 1996 по 2014 г., рост годовой глобальной площади выращивания биотехнологических культур достиг 181,5 млн в 2014 г. и 179,7 млн га в 2015 г. На годовые колебания в площади посевов (увеличение и уменьшение) влияют несколько факторов. В 2015 г. основным фактором снижения площадей, занятых ГМ-сортом в некоторых странах, было понижение общих посевов сельскохозяйственных культур, например кукурузы — минус 4%, хлопка — минус 5%, что обусловлено низкими ценами; для некоторых фермеров это было связано с переходом от кукурузы, хлопка и рапса к более легким культурам, таким как трансгенная соя, а также к другим менее требовательным культурам, таким как бобовые, подсолнечник, сорго. Кроме того, снижение цен на сельскохозяйственную продукцию, как это было в 2015 г., также приводит к сокращению площадей посевов, в том числе и ГМ-сортов; можно ожидать, что их увеличение будет способствовать и росту площадей посевов.

Общая мировая площадь посевов ГМ-культур увеличилась в 100 раз — с 1,7 млн га в 1996 г. до 179,7 млн га в 2015 г., их выращивают от 17 до 18 млн фермеров — это свидетельствует о том, что использование

ГМ-культур является самой быстрораспространяющейся новой технологией в выращивании зерновых в последнее время. Такие впечатляющие темпы распространения говорят сами за себя, свидетельствуя о значительных преимуществах применения этих сортов для малых и крупных фермеров и потребителей.

В США в целом в 2015 г. был достигнут значительный прогресс по многим направлениям, начиная от новых договоренностей, новых коммерциализированных биотехнологических культур: впервые одобрены пищевые продукты ГМ-животных для питания человека; широко распространились новые и мощные технологии редактирования геномов, названные *CRISPR*, позаимствованные для эукариот от бактерий. *CRISPR* — это аббревиатура от *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats* (кластеризованные регулярные промежуточные короткие палиндромные повторы). Эта система позаимствована у бактерий, в геномах которых палиндромные повторы чередуются с уникальными. *CRISPR* — это часть системы защиты бактерий от вирусов, в которой уникальные последовательности содержат информацию о вирусных генах, а *Cas* — это ферменты, которые распознают по *CRISPR* и разрушают чужеродные гены. *CRISPR-Cas* является системой адаптивного иммунитета у бактерий, своеобразной базой данных, в которой хранится информация о всех встреченных бактерией вирусах. Она позволяет бактериям вырабатывать устойчивость к вирусам и передавать ее своим потомкам.

Среди ГМ-сортов новый сорт картофеля, *Innate™*, первое поколение, улучшенный по ряду признаков, созданный «Simplot», впервые коммерциализирован на 160 га в 2015 г.; его улучшенная версия, *Innate™ 2*, утвержден в 2015 г., в его геном добавлены гены устойчивости к грибковым заболеваниям, таким как фитофтороз, который был причиной гибели множества людей в Ирландии во время Великого голода 1845 г., когда более 1 млн человек умерли от голода. Примечательно, что это еще остается ведущей болезнью картофеля: через 150 лет после голода связанные с ней ежегодные мировые убытки достигают 7,5 млрд долл. Еще один сорт глобализован, первый нетрансгенный сорт с отредактированным геномом, *SU Canola™*, разработанный «Cibus» и выращенный на 4 тыс. га. Два сорта *Arctic®* яблок с повышенной устойчивостью к хранению одобрены для посадки в США и Канаде, 6 тыс. га засажены ими только в США в 2015 г. Первые поставки потребителям планируются на следующий год. Компания, которая разработала *Arctic®* яблоко, Okanagan из Канады, специализируется на плодовых культурах и использует те же технологии для улучшения других скоропортящихся фруктов, включая персики, груши и вишни. Сорт люцерны с низким содержанием лигнина, *KK179 (HarvXtra™)*, с высокой усвояемостью животными и урожайностью (люцерна — ведущая кормовая культура в мире) уже был утвержден в ноябре 2014 г.

и является кандидатом для выпуска в США в 2016 г. Площадь биотехнологического сорта кукурузы DroughtGard™, созданного в США в 2013 г., выросла более чем в 15 раз, с 50 тыс. га в 2013 г. до 275 тыс. га в 2014 г. и 810 тыс. га в 2015 г., что отражает его высокую оценку фермерами. В декабре 2015 г. «Dow» и «DuPont» договорились о слиянии в общую фирму «DowDuPont» с целью разделения компании на три предприятия, специализирующихся на сельском хозяйстве, материалах и специализированных продуктах.

Для ГМ-животных после 20-летних исследований и обсуждений в ноябре 2015 г. принято эпохальное решение: FDA одобрило первый ГМ для коммерческого производства продуктов питания для человека — это быстрорастущий ГМ-лосось, который, как ожидается, войдет в пищевой рацион в США до 2018 г.; рост атлантического лосося обычно занимает три года по сравнению с ростом ГМ-лосося только в течение 18 месяцев, или половину обычного времени. FDA одобрило новый ГМ-кур, чьи яйца будут использованы для больных редким, но смертельным заболеванием человека — дефицитом лизосомальной кислой липазы.

Ведущим мировым журналом Science технология *CRISPR* для редактирования генома была выбрана как наиболее революционная в 2015 г. Она используется во многих лабораториях для разработки усовершенствованных сельскохозяйственных культур и животных. К примеру, улучшенные с использованием этой технологии сорта сои и кукурузы уже оцениваются в теплицах; предполагается, что эти сорта будут коммерциализированы уже в течение ближайших пяти лет. Разрабатываются новые варианты ГМ-свиней, устойчивые к смертельным вирусным заболеваниям, ущерб от которых в свиноводстве достигает 600 млн долл. в год.

В 2015 г. ведущей пятеркой стран среди производителей ГМ-растений были следующие.

США продолжают оставаться ведущей страной использования ГМ-растений на 70,9 млн га (39% от общемировых) с более чем 90% основных посевов кукурузы, сои (94%) и хлопка (94%).

Бразилия — второй по величине производитель в мире ГМ-растений с их площадью в 44,2 млн га (впервые в 2015 г. эти площади составили 25% мировых ГМ-посевов). Аргентина с 24,5 млн га ГМ-посевов сохранила третье место. Четвертое место занимает Индия с 11,6 млн га ВТ-хлопка (как и в 2014) и имеет устойчивые темпы распространения 95%. Канада стала пятой с площадью под ГМ в 11,0 млн га. В 2015 г. каждой из ведущих пяти стран высажено более 10 млн га, что предоставляет широкий, прочный фундамент для будущего устойчивого роста ГМ-культур.

В 28 странах регулярно росли площади посевов биотехнологических культур в период с 1996 по 2015 г. В глобальном масштабе от 17 до 18 млн фермеров, ~90% из которых были мелкими фермерами, в 2015 г. посадили

биотехнологические культуры в 28 странах. Из них 20 стран были развивающимися и только 8 были промышленно развитыми странами. 28 стран включают Вьетнам, выпустивший сорта ГМ-кукурузы в 2015 г. впервые. Куба выращивала ГМ-кукурузу в течение последних двух лет, сейчас использует улучшенные гибриды кукурузы.

Более половины населения мира, ~60%, и ~4 млрд человек живут в 28 странах мира, в которых в 2015 г. используются ГМ-сорта.

До ~18 млн фермеров получили прибыль от ГМ-культур за 20-летний период, с 1996 по 2015 г., из них ~90% были маленькими бедными фермерами.

Последние экономические данные за период с 1996 по 2014 г. свидетельствуют о том, что фермеры в Китае получили прибыль за счет использования ГМ-сортов 17,5 млрд долл., а в Индии — 18,3 млрд долл. Помимо экономической выгоды, фермеры извлекли большую выгоду из уменьшения использования инсектицидов, по меньшей мере на 50%, тем самым снижая токсическое воздействие их на фермеров, а главное, это способствует снижению токсической нагрузки на окружающую среду и улучшению качества жизни населения.

ДНК-ТЕХНОЛОГИИ

«Через 50 лет мы избавимся от абсурда выращивания целой курицы для того, чтобы съесть только грудку или крылышко, и будем выращивать эти части по отдельности в подходящей среде...»

Уинстон Черчилль, 1932 г.

«Первый удачный опыт — подарок дьявола, только потом обычно начинается настоящая работа, дающая зрелые плоды.»

Эрвин Чаргафф

В начале 80-х гг. XX в. министр сельского хозяйства США Джон Блок сделал громогласное заявление. Он объявил о том, что ученые Висконсинского университета (город Мэдисон) в ходе исследований совершили настоящий переворот в науке, что в генетике растений начинается новая эра.

Это заявление появилось из-за того, что удалось включить в геном подсолнечника ген фасоли, который теперь контролирует в нем синтез одного из белков. Полученная учеными растительная химера получила название «санбин» (*sunbean*, буквально — «солнечная фасоль»), ибо ее родителями стали подсолнечник («*sunflower*») и фасоль («*bean*») — растения, состоящие в далеком родстве. Санбин — действительно свидетельство больших возможностей уже на то время генетической инженерии [Глазко, Чешко, 2007]. В настоящее время наличие более 180 млн га по выращиванию ГМО дало шанс на выживании более 2 млрд людей. И это все возникло благодаря развитию методов ДНК-технологий (геномная манипуляция) и генной инженерии (манипуляция с генами). И в этом большая заслуга *ДНК-технологий, которые можно определить как отрасль биологии, изучающая явления и конструирование новой наследственности и изменчивости на уровне генома.*

Другое важное событие, которое произошло в связи с развитием ДНК-технологий, связано с тем, что сформировалось представление о модульном строении генома, комплексах коэволюционирующих и коэкспрессирующихся генов, вовлеченных в общую биохимическую сеть, выделении в каждом модуле «значащих элементов». Это позволяет по-новому осмысливать процессы, лежащие в основе изменчивости и адаптивности живого. Быстрота адаптации, естественно, выше, если отбор признаков основывается не на изменениях в экспрессии отдельных генов (мутаций), а на изменении целых модулей за счет изменения регуляторных систем,

контролирующих экспрессию целого ряда генов. Таким путем теоретически достигается бóльшая генетическая пластичность, чем это предполагалось ранее. Кроме того, количество мутационных шагов, приводящих к адаптивному изменению, для такой схемы значительно меньше.

Стержневой проблемой наук о жизни является проблема регуляции активности генов. В самом деле, с расшифровкой интимных механизмов регуляции экспрессии генов и реализации генетической информации ДНК в виде соответствующих активных белков могут быть решены многие вопросы увеличения продуктивности сельскохозяйственных растений, повышения их устойчивости к абиогенным и биологическим стрессам. Накопление с годами экспериментальных данных усложняло наши представления о генетических основах развития. Необходим поиск нового подхода к работе с геномом, видовыми сообществами для создания новых, успешных форм сельскохозяйственных видов.

Несмотря на большой прогресс в геномике, метаболомике, протеомике, на отдельные центральные вопросы генетики до сих пор нет ясного ответа. Можно назвать несколько: как много генов связано с селекционно полезной изменчивостью? как много аллелей имеется у этих генов и каков их вклад в изменчивость хозяйственно полезных признаков? генетическая изменчивость основана в основном на различиях в нуклеотидной последовательности, кодирующей белки, или на различиях в регуляции экспрессии? Точнее, что важнее: кодировать различные аллели для различных протеинов, или для образования различных количеств этих протеинов)?

Более детально XIX и XX вв. позволили выделить элементарные, дискретные факторы материала наследственности (гены) и доказать, что гены обладают следующими общими свойствами:

- 1) способностью к конвариантной репликации в клетке или эквивалентной ей системе;
- 2) способностью к дискретным случайным изменениям порядка автономных единиц, не затрагивающим других генов, в клетке или эквивалентной ей системе;
- 3) способностью обмениваться любыми частями с гомологичными генами в процессе общей рекомбинации в клетке или эквивалентной ей системе;
- 4) определенной дискретной локализацией в геноме относительно других генов;
- 5) способностью кодировать дискретную порцию информации (молекулярную функцию или свойство) при помощи порядка нуклеотидов, которая может быть реализована в клетке или эквивалентной ей системе через процессы транскрипции, трансляции или контактного узнавания;

6) способностью вступать в синапсис с гомологичными генами в клетке или эквивалентной ей системе;

7) способностью длительно сохранять генетическую информацию в клетке или эквивалентной ей системе.

Современный этап ДНК-технологий связан с необходимостью увеличения источников благосостояния, продовольственной безопасностью и здоровья человечества. ДНК-технологии стремительно увеличивают наши знания в одной из наименее исследованных областей — организации и функционировании материала наследственности и законов ее изменения естественным и экспериментальным путем.

Каждый организм обладают собственной программой развития, которая предусматривает на определенных этапах включение или выключение отдельных генов или их групп с использованием самых разнообразных шунтов, предусмотренных обеспечить функционирование и переключение реализации генетических программ в зависимости от условий внешней среды. Часто некоторые механизмы реализации потенциалов генома в тех или иных условиях остаются неиспользованными или используются недостаточно эффективно. Задача биолога и состоит в том, чтобы научиться грамотно управлять реализацией таких программ развития и в определенных случаях целенаправленно включать или, наоборот, выключать соответствующие гены. Иногда это удается сделать весьма эффективно с помощью разных регуляторов роста растений. Обработывая растения такими агентами, включая фитогормоны, удается увеличить их засухо- или холодоустойчивость, а также повысить их резистентность к инфекционным заболеваниям. Мы уже убедились в том, что сегодня можно ввести в геном те или иные полезные гены и получить трансгенный организм с новыми, чужеродными генами, отвечающими за те или иные хозяйственные признаки, а с другой стороны, нельзя и отказываться от мероприятий, которые стимулируют природные защитные механизмы растения или определяют качество и количество его ценных пищевых и кормовых компонентов, таких как белки, масла, витамины, алкалоиды и другие вещества.

Концепция гена пронизывает все области биологии, являясь основой и базой биологических наук. Развитие концепции гена началось с работ Менделя, Бэтсона и Иогасена и с классического определения «один ген — один признак». Наибольшие успехи на этапах до геномной инженерии были накоплены в хромосомной инженерии при замещении отдельных хромосом на внутривидовом уровне у злаковых, в первую очередь у пшеницы.

Созданы полные замещенные серии у пшеницы. Таких серий в мире уже известно около 30. Одной из лучших признана созданная в Институте цитологии и генетики СО РАН серия по комбинации Саратовская 29 х

Янецкис Пробат. Это означает, что у сорта Саратовская 29 каждая из 21 пары хромосом замещена на гомологичную хромосому от сорта-донора Янецкис Пробат. Доказано, что чистое замещение прошло по 18 из 21 хромосомы. Чтобы понять смысл этой работы, покажем, к чему привело замещение двух хромосом сорта Диамант на гомологичные хромосомы сорта Новосибирская.

У сорта Диамант высокий процент клейковины, но плохие хлебопекарные качества, у сорта Новосибирская 67 — наоборот. Две хромосомы с генами высокого качества были перенесены в сорт Диамант.

Заменяв две гомологичные хромосомы, получают высокое хлебопекарное качество, сохранив высокое содержание клейковины. Эта технология открывает новые возможности в селекции, когда нужно подправить отдельные признаки, а не реконструировать весь организм, комбинируя в процессе гибридизации тысячи генов [Шумный, 2001, Глазко, 2002].

Но в ряде случаев, когда исчерпана внутривидовая изменчивость, уже не удастся усилить до необходимого уровня селекционируемые признаки, прежде всего устойчивость к заболеваниям и вредителям, солеустойчивость, морозостойкость. Тогда приходится заимствовать необходимые гены у других видов, родов растений, в том числе и у диких сородичей. Однако для этого необходимо знать, существуют ли у этих видов искомые гены и в каких хромосомах они локализованы. Перенос генов, замещение соответствующих хромосом осуществляются через гибридизацию, иногда с использованием методов культивирования клеток, тканей, зародышей.

По другим признакам, таким как солеустойчивость, содержание белка в зерне, уже необходимо прибегать к межродовым замещениям хромосом у пшеницы, т.е. заимствовать гены у более отдаленных сородичей. Например, проведена работа по пшенично-ржаному замещению. Одна из хромосом пшеницы *1A* замещалась на хромосому ржи *1R*, что позволило повысить у замещенной линии пшеницы солеустойчивость. Замещение *2A*-хромосомы пшеницы на *2R*-хромосому ржи привело к получению форм пшеницы с более высоким содержанием белка в зерне.

Следующий шаг в хромосомной инженерии растений — получение аллоплазматических линий, что означает сочетание ядра одного вида или рода растений с цитоплазмой другого. Речь идет уже о замещении не отдельных хромосом, а целых геномов. Используя явление элиминации у гибридов геномом одного вида (рода) растений генома другого, удалось создать ячменно-пшеничные формы, у которых присутствуют ядерный геном пшеницы, цитоплазма и элементы цитоплазматического генома ячменя. Эти аллоплазматические линии по своему фенотипу больше повторяют пшеницу, но у них проявлялись отдельные признаки ячменя, например раннеспелость и устойчивость к ряду заболеваний. Естественно,

что полученные формы уже используются в селекционных программах ряда стран. В то же время аллоплазматические линии представляют собой универсальную модель для изучения ядерно-плазменных взаимодействий, роли ядра и цитоплазмы в проявлении признаков.

Сегодня ясно, что эволюция генома от низших организмов до высших в значительной части шла путем сохранения блоков генов, определяющих основные метаболические процессы. В ходе эволюции блоки генов усложнялись регуляторными системами, уровнями активности, новыми функциями, уровнями взаимодействия генов между собой. Учитывая эти обстоятельства, исследователи начали разрабатывать теорию генных сетей, положив в ее основу принцип: реализация каждого признака — как результат действия не отдельных генов, а скоординированно работающих комплексов генов, функционально, иногда и структурно связанных между собой. Уже создано около 30 моделей таких генных сетей. Например, фрагмент генной сети по такому сложному признаку, как симбиотическая азотфиксация у бобовых растений. Геномы бактерии ризобиум и самого растения, взаимодействуя, образуют на корнях клубеньки-фабрики, где и происходит обмен между партнерами-метаболитами, восстановление ферментом нитрогеназа N_2 до NH_4^+ и определяется дальнейший процесс фиксации азота. В этом процессе задействовано множество скоординированно работающих генов как в геноме бактерии, так и в геноме растения. Среди них есть ключевые и вспомогательные; между ними существуют сложные иерархические взаимоотношения.

Если в будущем необходимо будет кардинально реконструировать геномы методами трансгеноза и хромосомных замещений, то нужно стремиться к переносу не отдельных генов и хромосом, а блоков, скоординированно работающих на признак генов, — ключевых элементов генных сетей. Поэтому так важно накопление знаний о функциях известных генов, их локализации. Идеальный вариант — если бы гены, определяющие основные параметры признаков, были локализованы сцепленными блоками, что значительно облегчило бы их перенос [Шумный, 2001, Глазко, 2002, 2006, 2016 (<http://do.gendocs.ru/docs/index-206460.html>)] [Глазко, Чешко, 2007]. Генетическая инженерия — это создание новых форм организмов за счет пересадки генов из одной биологической системы в другую. В растениеводстве получают *трансгенные* растения, а в животноводстве — так называемых *гентавров*. В животноводстве пока что успехи более чем скромные. Что касается растениеводства, то здесь успехи, можно сказать, огромные. Уже культивируются сотни трансгенных растений, имеющих несвойственные им особенности за счет функционирования в них чужеродных генов. Это различные сорта картофеля, устойчивого к колорадскому жуку, кукурузы, устойчивой к отдельным гербицидам, более продуктивной клубники и многое другое.

Клеточная инженерия — это методы работы с различными клетками с самыми разными целями, начиная от их культивирования и до создания клонов живых организмов. Метод базируется на простом переносе соматического ядра в неоплодотворенную яйцеклетку, в которой собственное ядро инактивировано. В дальнейшем такая яйцеклетка пересаживается суррогатной матери и все процессы проходят естественным путем. Поскольку генотип ядра соматической клетки тотипотентный, развивается новый организм, полностью соответствующий по своим особенностям, свойствам и признакам тому, от которого взято соматическое ядро. Практически это его копия, но только моложе — на то время, которое прожил донор. Для животноводства этот метод сулит много полезного, поскольку позволяет копировать высокопродуктивных животных и иметь от них продуктивность как от доноров, чего нельзя достичь естественным методом размножения. Этому мешает комбинация и рекомбинация хромосом при образовании гамет. Мало того, этот метод позволяет размножать животных с полезными мутациями в соматических клетках, чего невозможно добиться никакими другими методами. Метод клонирования позволяет сохранить редкие популяции животных, занесенные ныне в Красную книгу [Вепренцев].

Иногда понятия «ДНК-технология» и «*биотехнология*» отождествляются, хотя, несомненно, ДНК-технология — более узкое понятие и представляет собой один из разделов науки биотехнологии. В основу методов ДНК-технологии заложена способность ферментов-рестриктаз расщеплять ДНК на отдельные нуклеотидные последовательности, которые могут быть использованы для встраивания их в геномы бактериальных плазмид и фагов с целью получения гибридных или химерных форм, состоящих из собственной ДНК и дополнительных встроенных фрагментов несвойственной им ДНК. ДНК-технологии используются для клонирования генов, когда выделяют нужный отрезок ДНК из какого-либо биообъекта и затем получают любое его количество, выращивая колонии генетически идентичных клеток, содержащих заданный участок ДНК. Другими словами, клонирование ДНК — это получение ее генетически идентичных копий.

Таким образом, ДНК-технологии условно можно подразделить на *генную*, *геномную* и *хромосомную*. Сущность первой состоит в целенаправленном использовании механизмов, реализуемых в природе при перестройках генетического материала у микроорганизмов для генных модификаций любых других живых организмов. В качестве примера одного из таких природных событий можно вспомнить способность некоторых вирусов захватывать гены-клетки хозяина, трансдукцию (перенос) клеточных генов от клеток-доноров в клетки-реципиенты с помощью фагов, сплайсинг (разрывы и сшивки самой молекулы ДНК) и др.

Многоклеточный организм высших животных и растений является продуктом онтогенетического развития, при котором из одной клетки (*зиготы*), образовавшейся в результате слияния двух половых клеток родителей (*гамет*), путем большого числа дроблений образуется вся совокупность высокодифференцированных клеток органов и тканей организма. Любая соматическая клетка или клетка зародышевого пути берет свое начало от двух объединившихся родительских клеток; она, как правило, заключает в себе всю (или большую часть) генетическую информацию родительских организмов. По мере специализации соматических клеток их генетический материал часто претерпевает необратимые перестройки (например, эритроциты большинства млекопитающих вообще лишены ядер). Но это только подчеркивает преемственность генетического материала в рядах клеточных поколений соматических клеток организмов. Почти все гены зиготы представлены в большинстве соматических клеток организма и принимают участие в формировании их признаков. Это и привело к мысли о возможности изменения признаков (фенотипа) многоклеточных организмов путем введения новых рекомбинантных генов в зиготы (оплодотворенные яйцеклетки), еще не претерпевшие дробления в раннем эмбриональном развитии. В случае объединения с геномом зиготы новые гены должны распространиться в ряду клеточных поколений соматических клеток и работать (экспрессироваться, проявляться) в большинстве этих клеток. Поскольку, с известными ограничениями, весь многоклеточный организм можно рассматривать как клон соматических клеток, произошедших от единственной клетки, распространение рекомбинантных генов, введенных в зиготу, в соматических клетках организма допустимо рассматривать как разновидность молекулярного клонирования последовательностей ДНК.

Сущность геномной ДНК-технологии заключается в целенаправленной перестройке генома прокариот (безъядерных организмов) или эукариот (имеющих ядра), вплоть до создания новых видов. Причем по своей сути такие перестройки аналогичны происходящим в природе, например, при возникновении гексаплоидных пшениц, объединяющих три разных генома, или при возникновении самих эукариот путем актов симбиоза между двумя прокариотами, приведших к появлению ядерных клеток, а затем и при присоединении к ним митохондрий — третьего прокариотического организма. При геномной ДНК-технологии добиваются внесения большого количества дополнительной генетической информации и в результате получают гибридный организм, отличающийся от исходного по многим признакам. Гибриды оказываются жизнеспособными лишь в тех случаях, когда они содержат все безусловно необходимые гены, когда у них взаимно согласованы регуляторные связи между совмещенными генами и, наконец, когда имеется структурное соответствие между продуктами матричного синтеза (белками) [Глазко, Чешко, 2007].

Методология прикладного использования ДНК-технологий

Свыкшись с материальностью генов, человек, естественно, тут же захотел заняться генной хирургией. Вначале, до открытия *рестриктаз* и *лигаз*, затея казалась безнадежной. Конечно, порвать молекулу, такую длинную, ничего не стоит. Однако нужны не случайные разрывы: требовались конкретные места — удалить одни гены и на их места вставить другие. Обсуждались разные проекты. Свои «инструменты» предлагали и физики, и химики. Идей и попыток было немало, но результаты не вдохновляли, ибо требовались такие хирургические ножи, которые позволяли бы разрезать молекулу ДНК с точностью до миллиардных долей метра с атомными «допусками». Барьер казался непреодолимым. Наступление века генной инженерии отодвигалось на неопределенный срок. И вот в момент полного уныния на помощь ученым поспешила сама природа. Она предложила и «скальпели» — ферменты рестриктазы, и «иглы с ниткой» — ферменты лигазы. Ведь мало было работать с молекулой ДНК с высокой точностью, нужно было еще научиться скреплять генные фрагменты, чтобы получать любые варианты генных конструкций. Генно-инженерная операция начинается с выделения из клеток, точнее из ядер, молекул ДНК. Сначала к суспензии (раствору) клеток добавляют ПАВ — поверхностно-активные вещества. Они разрушают мембраны — стенки клеток и клеточных ядер. На ваших глазах мутноватая жидкость, налитая в стакан или колбу, превращается в прозрачный вязкий клей, почти студень. Это длиннейшие нитевидные молекулы ДНК выходят в раствор из лопнувших ядер. Осажденные затем спиртом, ДНК выпадают рыхлыми беловатыми волокнами, которые можно вынуть из стакана, наматывая их на стеклянную палочку.

Достаточное для работы количество ДНК получено. С помощью рестриктаз и лигаз первые перестроенные (химерные) молекулы ДНК (их еще называют рекомбинантными) были получены. Но проявить свои необычные свойства наследственности такие молекулы могут, только находясь в каком-то живом организме. Начался поиск существ, способных приютить рекомбинантные ДНК, способных дать им возможность нормально удваивать свое число. Конечно, кров для рекомбинантных молекул следовало выбирать попроще. Наиболее простые — бактерии, одноклеточные создания, управлять которыми наиболее легко.

Использование рекомбинантных (перестроенных) ДНК различного происхождения составляет основу ДНК-технологий. Теоретически все около 26 тыс. структурных генов человека и животных доступны теперь экспериментальному анализу. Поэтому желательна идентификация всех генов; установление карты тканеспецифичности их экспрессии; идентификация регуляторных областей генов; построение глобальной регуля-

торной карты генома; классификация генов по структурным и биохимическим функциям их продуктов; идентификация всех потенциальных белков и доменов; анализ распределения полиморфизма и мутаций; определение эволюционных и популяционных взаимосвязей; создание коллекции генетического материала и т.д.

Устойчивость нити ДНК в составе хромосом регулируется целой системой ферментов, контролирующей три матричных процесса — репликацию, транскрипцию и трансляцию и три собственно генетических процесса — репарацию, рекомбинацию и сегрегацию нитей ДНК и хромосом. Белковые продукты «генов метаболизма ДНК» образуют комплексы, которые следят за устойчивостью нитей ДНК, надежностью их репликации и рекомбинации, корректируют одонитевые и двунитевые повреждения. Степень активности этих комплексов весьма чувствительна к физиологическому статусу клетки. Ю.Я. Керкис (1940) впервые показал, что спонтанные наследственные изменения возникают за счет нарушения внутриклеточного метаболизма и физиологического гомеостаза. Именно эти причины в первую очередь индуцируют изменения факультативных элементов, которые затем опосредованно, по принципу усиления, вызывают мутации. Вариации возникают под действием самых обычных немутационных факторов. Устойчивость ДНК и темп мутаций могут в случае клеточного стресса меняться в десятки и сотни раз.

Партнер в гомологичном локусе хромосомы способен изменять характер активности гена-гомолога, вызывая его химическую модификацию (степень метилирования оснований ДНК) или характер его экспрессии в ряду клеточных поколений. Сюда относятся феномены парамутаций, разнообразные так называемые гомолог-зависимые эффекты, а также генный и хромосомный импринтинг. Гены эукариот способны хранить память о своем прошлом, в частности о том, пришли они в зиготу из сперматозоида или из яйцеклетки (импринтинг). Характер упаковки нуклеопротеидных комплексов в составе хромосом также влияет на работу генов вплоть до полного их глушения (*gene silencing*). Учитывая эпигенетическую модуляцию в проявлении и выражении любого наследственного признака, трудно сразу сказать, связан ли данный фенотип со структурными изменениями в тексте ДНК или с изменениями состояния генов, степенью их активности на уровнях транскрипции или трансляции. Регуляция состояний генетических локусов образует сферу динамической или эпигенетической наследственности.

Кроме понимания фундаментальных молекулярных процессов, лежащих в основе жизни, определение нуклеотидной последовательности геномов имеет и практическое применение. Например, определение того, какие именно метаболические пути и шунты имеются у патогенных бактерий, может помочь в выборе антибиотика для целевого воздействия

именно на данного возбудителя, не затрагивающего нормальную микрофлору. Выявление новых метаболических путей может помочь созданию новых антибиотиков.

В результате таких исследований можно ожидать развития новой медицины и ее новых подразделов, таких как генная терапия, фармакогеномика, лекарства нового поколения — эндогенные биорегуляторы, ДНК-вакцины. Будут развиваться новые методы диагностики предрасположенности к болезням, новые технологии экспресс-диагностики вновь появляющихся инфекций, а также использование новых технологий для развития производства пищевых продуктов, контроля и улучшения экологических ситуаций. Эти исследования будут способствовать развитию новых подходов и в сельском хозяйстве — к диагностике болезней, идентификации генетических особенностей пород животных и сортов растений, важных для увеличения эффективности селекции, для получения организмов с новыми и улучшенными свойствами на основе направленного изменения геномов. Используя самые последние достижения фундаментальных биологических наук, в том числе и ДНК-технологий, можно добиваться увеличения эффективности разведения животных. Хозяйственно важные характеристики животных, такие как удоимость, состав молока, качество туш и мяса, плодовитость, сопротивляемость или чувствительность к инфекциям, в большинстве своем являются полигенными признаками, результатом взаимодействия многих генов.

В результате развития ДНК-технологий сформировалось новое направление — MAS-селекция (*marker assistant selection*, селекция с помощью маркеров). Это направление основано на выявлении главных генов количественных, хозяйственно ценных признаков (главные гены количественных признаков — *QTL — Quantitative Trait Loci*). Контроль наследования их вариантов позволяет вести селекцию на качественно новом уровне: в меньшей зависимости от факторов окружающей среды. Введение в широких масштабах искусственного оплодотворения скота создало условия для передачи хозяйственно ценных генов, в частности обуславливающих высокую молочную продуктивность. Технология суперовуляции и трансплантации эмбрионов (*MOET — multiple ovulation and embryo transfer*) резко увеличивает возможности получения многочисленного потомства от животного с выдающимися характеристиками продуктивности и, соответственно, получения животных с определенными, полезными для селекции генами. Однако сама эта технология не решает проблем поиска таких генов. Идентификация генов, которые определяют то или иное развитие количественных признаков, а также их мутаций, поиск молекулярно-генетических маркеров, тесно сцепленных с ними, является в настоящее время предметом интенсивных исследований с использованием ДНК-технологий.

К настоящему времени в области ДНК-технологий и биоинформатики создана хорошая стартовая площадка для успешного развития дальнейших исследований. Выяснены функции многих простых и сложных биомолекул; при этом главными достижениями являются установление информационной роли ДНК и расшифровка механизма передачи информации от ДНК к белку. Выделены главные органеллы клеток животных и растений, установлены их основные функции. Получены в высокоочищенном виде многие ферменты, охарактеризованы механизмы регуляции их активности. Изучены формы запасаения и использования энергии. Достигнуты существенные успехи в изучении структуры и функции мембран. Выяснено действие главных гормонов. Установлены биохимические нарушения, лежащие в основе ряда заболеваний.

ДНК-технологии позволяют исследовать и направленно изменять материал наследственности на разных уровнях его организации — геном, хромосомном, геномном, популяционно-генетическом. Именно благодаря развитию ДНК-технологий становится все более очевидным определенное единообразие стабильности и изменчивости материала наследственности как на уровне отдельной нуклеотидной последовательности, так и в совокупности организмов, образующих общий генофонд. Исследователи не придумывают, по сути, ничего нового — они обучаются использованию приемов, многократно реализованных в процессе эволюции живых организмов и лежащих в основе «трех китов» филогенеза — изменчивости, наследственности и отбора. Таким образом, конец XX — начало XXI в. является действительно переломным моментом всего развития биосферы — переходом к активному вмешательству человека в совокупность материала наследственности биосферы, созданию новых вариантов с использованием приемов, стихийно наработанных в процессе эволюции за миллионы лет до появления человека.

В связи с очевидной практической значимостью этого направления на Западе образован целый ряд коммерческих фирм, задачей которых является использование методов ДНК-технологий для создания новых форм животных и растений, несущих полезные признаки. Многомиллиардные финансовые вливания этим фирмам привели уже в настоящее время к революционным изменениям в целом ряде традиционных теоретических и прикладных направлений биологии, медицины и сельского хозяйства. По-видимому, в современной биологии, во всем диапазоне ее областей: от физиологии клетки до механизмов высшей нервной деятельности — не осталось ни одной, в которой бы не нашли своего применения ДНК-технологии. Фактически созданы предпосылки для качественных перемен не только в прикладной биологии и сельском хозяйстве, но и в жизни человечества.

Разработка ДНК-технологий во многом определила справедливость прогноза о том, что в XXI столетии решающую роль в развитии и существовании мирового сообщества будет играть биология. Ее достижения, наряду с биоинформатикой, позволят вплотную подойти к формированию ноосферы, обеспечивающей удовлетворение возрастающих потребностей человечества при сохранении окружающей среды [Глазко, Чешко, 2007].

Новый взгляд на эволюцию. «Генетическая инженерия» в природных экосистемах

Следует подчеркнуть принципиально важное обстоятельство: одно из важных положений современной генетики состоит в открытии способности наследственной системы к «естественной генетической инженерии». В клетке существует режим генетического поиска и реорганизации структуры и функции генома.

Термин «вирус» этимологически означает «яд». Вплоть до 60-х гг. XX в. вирусы преимущественно рассматривались как болезнетворное начало. Но изучение вирусов бактерий (бактериофагов) и многоклеточных организмов, открытие большого сходства мобильных элементов с вирусами, а затем повсеместное распространение вирусных последовательностей в геноме каждого изученного вида млекопитающих изменили представление о вирусах.

Представление о повсеместности вирусов в биосфере, высказанное в середине 1970-х гг. [Жданов, Тихоненко, 1975], в настоящее время полностью подтверждено. Микроорганизмы вездесущи. Может быть, именно поэтому их можно обнаружить при любом заболевании (у здоровых их, как правило, не ищут). У человека только в клетках кишечника число обнаруженных в норме и при патологии вирусов больше 120. К 1970-м гг. стала ясна суть респираторных — «простудных» — заболеваний, переносимых большинством горожан, являющихся отражением эпидемических вспышек размножения вирусов.

Целенаправленное изучение путей распространения вирусов в природе привело в начале 80-х гг. XX в. к получению новой информации. Например, такие вирусы, как вирус полиомиелита, которые из-за своего видимого патогенного эффекта считались исключительно нейротропными, оказались обнаруженными в сточных водах и, стало быть, входят в группу энтеровирусов. Сточные воды оказались источником вспышки одной из форм вирусного гепатита, детского гастроэнтерита.

Пути распространения вирусов в биоценозах и, соответственно, пути горизонтального межвидового переноса паразитичны. Достаточно сказать, что РНК-содержащий вирус гриппа переносится водоплавающими перелетными птицами, но обнаружен и у китов, и у планктонных организ-

мов [Жданов, 1990]. Исследования С.М. Гершензона и его последователей показали, что РНК вируса гриппа вызывает летальные мутации у дрозофилы сразу в нескольких локусах хромосомы 2, причем летали именно в этих локусах чаще других распространены в природных популяциях дрозофил.

В эволюционном аспекте вирусы в природе являются самым мощным селективным фактором и самым мощным генератором наследственного полиморфизма, возникающего в результате популяционно-генетических взаимодействий типа «паразит — хозяин». Другой важный фактор в эволюции — бактерии. Миллиарды лет бактерии были единственными обитателями биосферы. Ни человека, ни животных, ни высших растений не было на Земле, а бактерии уже были. Да они и сейчас настоящие «хозяева планеты». Бактерии — истинные космополиты: они завоевали толщи почв и все водные бассейны, они поселились и в нас самих. Они буквально вездесущи. Они создавали и создают месторождения полезных ископаемых, они же превращают останки живых существ в материал для новой жизни, помогают нам переваривать пищу и готовить ее. Еще они способны и убивать нас, заразив болезнями. Биомасса этих мелких существ на много порядков превышает биомассу всех земных млекопитающих вместе с человеком. Мы обитаем на берегу своеобразного океана, населенного этими мельчайшими существами. А что если новые, созданные биотехнологами штаммы химерных бактерий начнут поглощать атмосферный кислород? Или вмешиваться в работу азотфиксирующих бактерий, помогающих связывать атмосферный азот? Ведь при этом может быть нарушен извечно налаженный земной цикл азота, механизм биосферы разладится. И тогда произойдет планетная катастрофа.

Горизонтальный перенос генов от одного организма в другой являлся существенным механизмом эволюции в основном у бактерий. Этот факт стал очевидным в последние несколько десятилетий.

Джошуа Ледерберг в 1952 г. ввел понятие «плазмида». Он обнаружил в кишечной палочке кроме основной спиралевидной, вытянутой во весь свой немалый рост ДНК еще и маленькие, свернутые в кольцо ДНК. О плаزمиде заговорили медики, когда в 1959 г. было доказано, что неэффективность многих антибиотиков обусловлена этими созданиями природы, они имеют особые гены устойчивости к антибиотикам. ДНК плазмиды легко переходят от бактерии к бактерии, делая их невосприимчивыми к лекарствам. К примеру, вырабатываемый плазмидами фермент пенициллаза разрушает пенициллин, спасая бактерии от гибели, что конечно же осложняет лечение больных.

Детальные наблюдения характера возникновения опосредованной плазмидами устойчивости сделаны в Японии и Англии. В 1945 г. в Японии

для борьбы с дифтерией стали применять сульфаниламид. Он был высокоэффективен только первые 5 лет. Вскоре появились устойчивые штаммы дифтерийной палочки, а уже некоторое время спустя 80–90% изолятов были устойчивыми. Затем сульфаниламид заменили антибиотиками. Но уже в 1952 г. от больного дифтерией был выделен штамм дифтерийной палочки, одновременно устойчивый к тетрациклину, стрептомицину и сульфаниламиду. А в 1964 г. половина всех бактериальных штаммов, выделенных из больных дизентерией, несла гены устойчивости одновременно к четырем антибиотикам. Эти гены устойчивости были собраны в одной плазмиде, способной распространяться среди бактерий горизонтально.

Гены плазмид, в свою очередь, могут перекочевывать на хромосомы клеток-реципиентов. Считают, что таким путем в кишечную палочку попали гены, кодирующие ферменты инактивации антибиотиков. Откуда взялись первые гены устойчивости к антибиотикам? Возможно, эти гены впервые появились у почвенных бактерий, живущих рядом с грибами — продуцентами антибиотиков. В почвенных бактериях в геноме плазмид находятся детерминанты устойчивости к тяжелым металлам. Из природных резерватов плазмиды с транспозонами, несущие гены устойчивости, попадают к бактериям животных и человека и с их помощью распространяются по всему миру.

То, что затрудняло работу медиков, пригодилось генным инженерам. А им нужны были переносчики реконструированных молекул ДНК в живые объекты. Правда, вначале на эту роль прочили вирусы-бактериофаги. Но, проникнув в клетку, вирус ведет себя как опасный хищник. Он переключает ресурсы клетки на удовлетворение своих нужд и примерно через полчаса губит ее. Клетка разрушается, и из нее вместо одного фага выпархивает сотня ему подобных, готовых творить новую агрессию.

Иначе поступает плаزمид. Это создание ограничивает свой аппетит, оно, в отличие от вируса, не убивает клетку-хозяюку. Плазмиды и приютившая ее клетка осуществляют симбиоз, их добровольный союз взаимовыгоден. Плазмиды защищают бактерию от ее врагов, скажем от пенициллина. Клетка же предоставляет плазмиде кров, ресурсы для питания, размножения. Все эти доставившие медикам так много хлопот особенности сожительства бактерий и плазмид (особенно способность плазмид переходить «из рук в руки», от одной клетки к другой) оказались истинным благом для генной инженерии.

Плазмиды Д. Ледерберг предложил обозначать все внеядерные генетические элементы, способные к автономной репликации. Сюда входят «каппа-частицы» у парамеций, экзогенные вирусы и т.д. Взгляд на плазмиды как на симбионты и альтернативный взгляд на них как на составную часть гено типа, согласно Д. Ледербергу, зависит от того, насколько ши-

роко исследователь трактует границы генотипа и наследственной системы организма.

Именно особенности жизненных циклов вирусов, плазмид и бактерий привели в дальнейшем к созданию так называемых векторов — искусственно реконструированных молекул материала наследственности, которые могут переносить чужеродный материал от одного организма к другому.

Все наши традиционные продукты питания представляют собой результат естественных мутаций и генетической трансформации. Эти процессы — движущие силы эволюции.

Пшеница, которой принадлежит столь значительная роль в нашем современном рационе, приобрела свои нынешние качества в результате необычных (но вполне естественных) скрещиваний между различными видами трав. Сегодняшний пшеничный хлеб — результат гибридизации трех различных растительных геномов, каждый из которых содержит набор из семи хромосом. В этом смысле пшеничный хлеб следовало бы отнести к трансгенным, или генетически модифицированным (ГМ), продуктам. Еще один результат трансгенной гибридизации — современная кукуруза, появившаяся, скорее всего, благодаря скрещиванию видов *Teosinte* и *Tripsacum*. Другой пример генной инженерии в природе полиплоидизации — это тетраплоидная слива.

Гибридогенное видообразование встречается и у позвоночных, и у беспозвоночных животных. Но животные размножаются половым путем, который у межвидовых гибридов затруднен или даже невозможен. Поэтому межвидовые гибриды животных размножаются необычными способами, которые мы могли бы назвать репродуктивными технологиями. К ним относятся: *партеногенез* (спермии не нужны для развития яйцеклеток видов-гибридов); *гиногенез* (спермии нужны лишь для активации развития, но развитие происходит на основе женских гамет и наследование матроклинно) и собственно *гибридогенез*, когда гибридный вид образуется на основе гибридных оплодотворенных яйцеклеток, но один из родительских геномов избирательно устраняется.

Реакция клеточного генома на вызов среды двухэтапна. На относительно слабые (немутационные) воздействия среды реагирует сначала подсистема факультативных элементов, в которой возникают вариации, в их числе и топографии. Эти изменения пограничны между наследственными и ненаследственными и обратимы. И лишь при постоянном воздействии изменения затрагивают гены и генные комплексы. Многие транспозоны эукариот организованы как эпигены и имеют динамические механизмы авторегуляции их числа и активности. В рамках вариационной и эпигенетической изменчивости возможно наследование признаков, модифицированных у особей в ходе онтогенеза. Одним из эволюционных

механизмов является наращивание ДНК и увеличение доли факультативных элементов в геноме. Это создает основу для эволюционного потенциала, которым обладают виды с большим геномом, и последующего «сброса» ДНК. Перераспределения в составе и топографии облигатных и факультативных элементов изменяют характер генной регуляции и представляют собой один из механизмов процесса макроэволюции.

Благодаря перемещающимся элементам генофонды всех организмов потенциально составляют общий генофонд всего живого. Реализация этой потенции, т.е. передача генов между разными таксонами, детально документирована. У млекопитающих и птиц практически идентичные провирусные последовательности появились уже после эволюционного обособления соответствующих видов. Этот поток генов между далекими организмами является реальностью. Вопрос заключается только в том, насколько часто организмы присваивали чужеродные гены в качестве «благоприобретенных собственных функциональных генов».

Возможно около 20 способов проникновения и межвидовой миграции генетических элементов, в их числе трансформация, трансдукция, транспозоны, плазмиды, вирусы, неполовой обмен хромосомами и образование симбиотических ассоциаций. Информационная емкость переноса информации, выраженная в генах, варьирует от единиц до сотен и тысяч в случае плазмид и симбионтов.

Под влиянием действия стресса резко увеличиваются частоты горизонтального обмена материалом наследственности между бактериями, у растений — частоты перекрестного опыления у самоопылителей. В последние годы в различных моделях стресса наблюдают увеличение частот рекомбинационных событий, транспозиций, различных мутационных событий. Отчетливые данные о связи дестабилизации генетического материала с действием стрессирующих факторов были получены Б. МакКлинток, которые впоследствии привели к развитию представлений о системах «природной генетической инженерии» [Shapiro, 1992, 1995; Глазко, Чешко, 2007].

Проблема голода и генные технологии — есть ли альтернатива?

Большой вклад в понимание опасности голода внесла работа международной неправительственной организации, так называемого Римского клуба, созданного в 60-е гг. XX в. по инициативе Аурелио Печчеи. В Римском клубе был разработан ряд последовательно уточнявшихся моделей, исследование которых на ЭВМ позволило рассмотреть некоторые сценарии возможного развития будущего Земли и судьбы человечества на ней. Результаты этих работ встревожили весь мир. Стало ясно, что путь раз-

нития цивилизации, ориентированный на постоянное увеличение производства и потребления, ведет в тупик, поскольку не согласуется с ограниченностью ресурсов на планете и возможностями биосферы перерабатывать и обезвреживать отходы промышленности. Эта угроза биосфере Земли, вследствие нарушения устойчивости экосистем, получила название экологического кризиса. С тех пор и в научной литературе, и в широкой печати в средствах массовой информации постоянно обсуждаются различные проблемы, связанные с угрозой всепланетного, глобального экологического кризиса.

Хотя после выхода работ Римского клуба многие оптимисты выступали с «опровержениями» и «разоблачениями», не говоря уж о научной критике предсказаний первых глобальных моделей, и в самом деле не вполне совершенных, как и любая модель сложной действительности, уже через 20 лет можно было констатировать, что реальный уровень численности населения Земли, отставание производства продовольствия от роста потребности в нем, уровень загрязнения природной среды, рост заболеваемости и многие другие показатели оказались близки к тем, что прогнозировались этими моделями. А поскольку именно экология оказалась наукой, имеющей методологию и опыт анализа сложных природных систем, включая влияние антропогенного фактора, прогнозировавшийся глобальными моделями кризис стали называть «экологическим» [Розанов, 2001].

Выделяются три принципиальные проблемы современного сельского хозяйства, которые до сих пор остаются недостаточно оцененными: особенности организации систем производства сельскохозяйственной продукции; сужение разнообразия генетических ресурсов сельскохозяйственных видов и, как следствие, неготовность к новым вызовам меняющихся условий окружающей среды; ограниченность использования современных наукоемких методов для усовершенствования сельскохозяйственного производства, в частности генетически модифицированных организмов.

Хотя площадь суши вдвое меньше, чем площадь, занимаемая океанами, ее экосистемы имеют годовую первичную продукцию углерода, более чем вдвое превышающую таковую Мирового океана (52,8 и 24,8 млрд тонн соответственно) при относительной продуктивности наземных экосистем, в 7 раз превышающей продуктивность экосистем океана. Из этого, в частности, следует: надежды на то, что полное освоение биологических ресурсов океана позволит человечеству решить продовольственную проблему, не очень обоснованы. По-видимому, возможности в этой области невелики — уже сейчас уровень эксплуатации многих популяций рыб, китообразных, ластоногих близок к критическому, для многих промысловых беспозвоночных (моллюсков, ракообразных и других) в связи со зна-

чительным падением их численности в природных популяциях стало экономически выгодным разведение их на специализированных морских фермах, развитие марикультуры. Примерно таково же и положение со съедобными водорослями, такими как ламинария (морская капуста) и фукус, а также водорослями, используемыми в промышленности для получения агар-агара и многих других ценнейших веществ [Розанов, 2001].

Мир как был несовершенен, так и остался. Первая Всемирная продовольственная конференция состоялась в 1974 г. На ней было подсчитано, что в мире существовало 840 млн жертв хронического недоедания. Вопреки сопротивлению многих, она провозгласила «неотъемлемое право человека на свободу от голода». Итоги реализации этого права были подведены на Всемирном продовольственном форуме в Риме 22 года спустя. Он зафиксировал крах надежд мирового сообщества на обуздание голода, так как положение на фронте борьбы с этим социальным злом осталось без перемен. В связи с этим римская встреча наметила более скромные цели — снизить количество голодающих хотя бы до 400 млн человек [Глазко, Чешко, 2007].

В последние годы обострилась проблема дефицита плодородных почв. Если сравнить мировую продукцию растениеводства в середине XX и начале XXI в., то при урожайности прошлого века для обеспечения такого роста пришлось бы засеять не 600 млн га, как ныне, а втрое больше. Между тем дополнительные 1,2 млрд га уже, по сути, взять негде, особенно в странах Азии, где плотность населения чрезвычайно высока. Кроме того, земли, вовлеченные в сельскохозяйственный оборот, с каждым годом становятся все более истощенными и экологически уязвимыми [Глазко, Чешко, 2007] [<http://www.ecolife.ru/jornal/econ/2001-4-1.shtml>]. Из стран-экспортеров лишь США и Россия могут расширить посеы зерновых. Ни Австралия, ни Аргентина, ни Канада, ни страны ЕС резервов не имеют — там все распахано. В США же есть угодья, так же как и в России, выведенные из оборота, так что, задействовав их, американцы могут получить еще 100 млн т в год. Это внушительный резерв экспорта, ибо свои потребности США с лихвой удовлетворяют на нынешних площадях. Но что США поставляют на мировой рынок? В основном кукурузу и сою — пшеницу они почти не экспортируют. Россия же при использовании современных технологий может экспортировать более 100 млн т зерновых.

В настоящее время проблема голода еще больше обострилась. Как отмечалось в докладе Генсека ООН Кофи А. Анана «Предотвращение войн и бедствий», сегодня прожиточный уровень свыше 1,5 млрд чел. — менее доллара в день, 830 млн страдают от голода. Перспективы решения этой проблемы не внушают надежд. В 2015 г. около 2 млрд человек живут в бедности. Растениеводы давно пытались решить эту проблему, издавна

занимаясь выведением новых, высокопродуктивных сортов традиционными путями при помощи скрещивания и отбора, т.е. путями естественными, главные недостатки которых — ненадежность и малая вероятность получения селекционером того, что он запланировал. Кроме того, часто жизни не хватает для создания нового сорта, т.е. слишком велики затраты времени.

Делом этим занималась и сама природа. За тысячелетия с помощью естественного отбора она добилась немало. Так, в частности, полагают, что вследствие генных мутаций живых существ и природной генной инженерии она поставила на стол человеку массу новых продуктов, начиная от мягкой пшеницы (слияние трех геномов) и кончая кукурузой. Но как нормальному селекционеру спрессовать миллионы лет того, что делала природа, в годы и даже месяцы? Как максимально сократить сроки? Способны ли справиться со всем этим генетика и селекция? Вклад генетики в достигнутое только за последнюю четверть века увеличение урожайности составляет более 50%. Однако, для того чтобы накормить мир, даже такие цифры сегодня малы. Селекционное конструирование нового сорта — многотрудный научный процесс, требующий от селекционеров чудовищного упорства, десятков лет труда, а успех к ним чаще всего приходит только на склоне лет. Сколько селекционеров так и не дожили до времени, когда их усилия стали приносить плоды, а многие вообще остались без сортов! А проблема голода — на повестке дня многих стран. Время не ждет, речь идет о миллионах живых людей, им требуется помощь.

Возьмем пшеницу. Вот только перечень требований к новому сорту по классическому подсчету Николая Ивановича Вавилова. В число признаков, которым должен соответствовать новый сорт, входит 46 пунктов. Перечислим некоторые из них: форма зерна; высокий вес 1000 семян; крупный, при созревании не осыпающийся колос; не прорастающее на корню и в снопах зерно; прочная, неполегающая соломина; оптимальное соотношение массы зерна и соломины; иммунитет к вредителям, болезням; устойчивость к засухам; пригодность к механизированной уборке и т.д. и т.п. И это по меркам прошедших десятилетий. Ныне же количество требований выросло еще больше.

Как добиться желаемого? Какими способами изменить структуру молекул ДНК, произвести в ней «поправки», словом, как добиться нужных направленных изменений — мутаций? К сожалению, эти «мутации» плохо предсказуемы. Трудно предвидеть, какие гены будут изменены, в каком отношении они будут модифицированы. Остается уповать только на удачу, на то, что повезет найти и отобрать нужные варианты — очень редкие, интересующие селекционера экземпляры. Вот куда уходит жизнь селекционера [Глазко, Чешко, 2007]. Вот почему потребовалось создание

ДНК-технологии со своими методами, подсмотренными у природы, — для ускорения селекции и создания модифицированных организмов.

Генетически модифицированные организмы (ГМО) — это те, генетический аппарат которых изменен для улучшения их свойств. Противники ГМО называют их «пищей Франкенштейна», «новым Чернобылем замедленного действия», забывая, что и мы ГМО. А сторонники скромно напоминают, что уже через четверть века без ГМО просто невозможно будет обеспечить непрерывно растущее человечество пищей и лекарствами. Тем более что лекарства, витамины, антибиотики — они все более в течение последних 40 лет являются результатами генно-инженерных разработок. Значит, их тоже нужно запрещать? Чем лекарства в этом отношении отличаются от растений, непонятно. И те, и другие служат для продления человеческой жизни и, главное, не только количественно, но и качественно. Но главный аргумент «за» — генетически измененная сельскохозяйственная продукция, прежде чем попасть на поля, проходит массу жестчайших, тщательнейших испытаний.

Проблема производства и потребления генетически модифицированных растительных продуктов становится все более острой. Сторонники широкого употребления в пищу подобного рода изделий говорят, что они совершенно безопасны для человеческого организма, а преимущества их огромны — большие урожаи, повышенная устойчивость к переменам погоды и вредителям, лучшая сохранность.

Одна из основных тенденций развития человеческого общества — непрерывное повышение уровня производства, в конечном счете — производительности труда. Это позволяло человеку в течение всей его истории постепенно увеличивать «емкость среды обитания». Однако если в этой стороне дела проявляется вся мощь человеческого разума, то в заполнении увеличивающейся емкости среды Homo sapiens ведет себя как любой другой биологический вид. Эту емкость вид заполняет до уровня, на котором регуляторами снова оказываются биологические факторы. Так, по оценкам ООН на 1985 г., смерть от голода угрожала почти 500 млн человек, или примерно 10% населения мира; в 2015 г. периодически или постоянно от голода страдали более миллиарда людей.

«Зеленая революция»

Выражение «зеленая революция» употребил впервые в 1968 г. директор Агентства США по международному развитию В. Гауд, пытаясь охарактеризовать прорыв, достигнутый в производстве продовольствия на планете за счет широкого распространения новых, высокопродуктивных и низкорослых сортов пшеницы и риса в странах Азии, страдавших от нехватки продовольствия [<http://www.ecolife.ru/jornal/econ/2001-4-1.shtml>].

Зеленая революция была предшественницей биотехнологической революции, основанной на генно-хромосомных манипуляциях у растений. Она завершилась 30 лет назад и принесла впечатляющие результаты: почти вдвое повысилась продуктивность злаковых и бобовых растений [Шумный, 2001 (<http://do.gendocs.ru/docs/index-206460.html>)]. Судьба несправедлива, в 1943 г. Николай Вавилов, творец методологии и теории «зеленой революции», умирал в саратовской тюрьме от голода — дистрофии. В этот год в Мексике американский селекционер Норман Борлауг начал практическое воплощение в жизнь основных идей Н.И. Вавилова — создание новых сортов культурных растений в соответствии с заранее сформулированной моделью. Модель включала в себя: выяснение механизмов генетического контроля основных хозяйственно важных признаков, влияющих на жизнеспособность, устойчивость и продуктивность; формирование генетических коллекций (по современной терминологии — банков генов), служащих материалом для последующего селекционного процесса; создание модели сорта — набора тех признаков, которые обеспечивают достижение поставленной перед селекционером цели; «конструирование сорта» — введение в его геном (первоначально на основе традиционных технологий — гибридизации и отбора, затем и генной инженерии) тех генов, которые обеспечат реализацию этой модели. Для этого использовали данные о наследовании хозяйственно важных признаков с использованием генетической информации, хранящейся в банках генов (генетических коллекциях). В узком смысле этого слова «зеленая революция» — это создание и внедрение карликовых сортов пшеницы, риса и других зерновых культур, обеспечившие в 1955–1970 гг. рост урожайности в странах «третьего мира» в 1,5–2 раза. Отсюда и увеличения населения. Использование новой технологии создания сортов и пород, основанное на знании законов генетики. В этом смысле аналог «зеленой революции» — внедрение гетерозисных гибридов кукурузы в США в 1933–1950 гг. [Глазко, Чешко, 2007].

Зеленая революция в сельском хозяйстве в 30–60-е гг. XX в. повлекла за собой адекватные изменения как структурно-экономической организации, так и ментальности фермеров и бизнесменов. Прежде всего началось создание специализированных семеноводческих фирм. Вытеснение местных фермерских сортов и пород привело к значительному падению величины генетического разнообразия. Значительно выросла энергоемкость аграрного производства, химическая индустрия получила достаточно мощный стимул. Фермерская психология, отличающаяся большим консерватизмом, стала более открытой к возможности использования противоречащих традициям и «многовековому здравому смыслу» научно-исследовательских разработок. И все это вместе ужесточило требования, предъявляемые к новым сортам, сделав описанные выше характеристики

непременным условием успеха на рынке. Многие журналисты тогда стремились описать «зеленую революцию» как массовый перенос передовых технологий, разработанных в наиболее развитых и получавших стабильно высокие урожаи агросистемах, на поля крестьян в странах «третьего мира». Она ознаменовала собой начало новой эры развития сельского хозяйства на планете, эры, в которую сельскохозяйственная наука смогла предложить ряд усовершенствованных технологий в соответствии со специфическими условиями, характерными для фермерских хозяйств в развивающихся странах [Глазко, Чешко, 2007].

Это было достигнуто благодаря переносу в создаваемые сорта целевых генов, чтобы увеличить прочность стебля путем его укорочения, добиться нейтральности к световому периоду для расширения ареала возделывания и эффективной утилизации минеральных веществ, особенно азотных удобрений. Перенос избранных генов, хотя и в пределах видов, с использованием традиционных методов гибридизации можно рассматривать как прообраз трансгеноза.

Идеолог «зеленой революции» Норман Борлауг, получивший за ее результаты в 1970 г. Нобелевскую премию, предупреждал, что повышение урожайности традиционными методами может обеспечить продовольствием 6–7 млрд человек. Сохранение демографического роста требует новых технологий в создании высокопродуктивных сортов растений, пород животных и штаммов микроорганизмов. В обращении к форуму по генной инженерии, проходившему в марте 2000 г. в Бангкоке (Таиланд), Борлауг заявил, что «либо уже разработаны, либо мы находимся на завершающих стадиях разработки технологий, которые позволят прокормить население численностью более 10 млрд человек».

Сопоставление «зеленой революции» с происходящей ныне биотехнологической проведено для того, чтобы показать ту социально значимую компоненту, которая лежит в основе всех генно-хромосомных манипуляций. Речь идет о том, как обеспечить население Земли продовольствием, создать более эффективную медицину, оптимальные экологические условия [Глазко, Чешко, 2007; Шумный, 2001 (<http://do.gendocs.ru/docs/index-206460.html>)].

Современные сорта позволяют повысить среднюю урожайность за счет более эффективных способов выращивания растений и ухода за ними, за счет их большей устойчивости к насекомым-вредителям и основным болезням. Однако они лишь тогда позволяют получить заметно больший урожай, когда им обеспечен надлежащий уход, выполнение агротехнических приемов в соответствии с календарем и стадией развития растений (внесение удобрений, полив, контроль влажности почвы и борьба с насекомыми-вредителями). Все эти процедуры остаются абсолютно необходимыми и для полученных в последние годы трансгенных

сортов. Более того, радикальные изменения в уходе за растениями, повышение культуры растениеводства становятся просто необходимыми, если фермеры приступают к возделыванию современных высокоурожайных сортов. Скажем, внесение удобрений и регулярный полив, столь необходимые для получения высоких урожаев, одновременно создают благоприятные условия для развития сорняков, насекомых-вредителей и ряда распространенных заболеваний растений. Так что дополнительные меры по борьбе с сорняками, вредителями и болезнями неизбежны при внедрении новых сортов [<http://www.ecolife.ru/journal/econ/2001-4-1.shtml>].

В общем, мировому сообществу и без генетически модифицированных организмов удалось добиться сдвигов в борьбе с голодом. В 1950–90 гг. производство зерновых, говядины и баранины выросло почти в три раза (соответственно с 631 до 1780 млн т и с 24 до 62 млн т), производство рыбпродуктов — почти в 4,5 раза (с 19 до 85 млн т). Несмотря на более чем двукратный рост обитателей Земли за тот же период, это позволило повысить в 1961–1994 гг. мировое производство продовольствия на душу населения на 20% и несколько поднять уровень питания в развивающихся странах.

Тем не менее «зеленая революция» не внесла особых изменений в количественные и качественные параметры питания в бедных странах. Душевое потребление зерновых в прямом и косвенном виде колеблется в современном мире от 200 до 900 кг в год. В отличие от населения развитых стран, которое потребляет урожай зерновых главным образом в виде мяса, молока и яиц, народы «третьего мира» довольствуются скудной диетой. В 1995 г. среднестатистический американец съедал 45 кг говядины, 31 кг свинины, 46 кг домашней птицы и 288 л молока, а в годовой рацион среднего жителя Индии входил лишь 1 кг говядины, 0,4 кг свинины, 1 кг домашней птицы и 34 л молока.

Случилось так, что спасительные намерения, когда они подчиняются ложной рациональности (рациональные решения выносились экспертами, убежденными, что они работают во имя разума и прогресса, и не принимавшими в расчет протесты местного населения, считая их необоснованными суевериями), приводят в итоге к пагубным результатам, которые уравнивают и даже превосходят по своим последствиям их благотворные результаты. Так, «зеленая революция», осуществленная в целях стимулирования развития стран «третьего мира», в значительной степени приумножила их продовольственные ресурсы и во многом позволила избежать неурожаев; тем не менее надо было пересмотреть стартовую идею, вероятно рациональную, но абстрактно-максималистскую, которая состояла в том, чтобы отбирать и размножать на очень обширных площадях единственный селекционный сорт — количественно самый продуктивный. Но оказалось, что отсутствие генетического разнообразия давало

возможность патогенному фактору, сопротивлению которому не мог оказать этот сорт, уничтожить весь сезонный урожай. Тогда пришли к заключению, что надо восстановить определенное генетическое разнообразие, для того чтобы оптимизировать, а не пытаться более максимизировать урожайность. Кроме того, интенсивная технология приводит к деградации почв; ирригация, которая не учитывает особенности почвы, вызывает их эрозию; накопление пестицидов разрушает регуляции между видами, уничтожая полезные виды наряду с вредными, иногда стимулируя безудержное размножение вредного вида, который получил иммунитет против пестицидов; затем токсичные вещества, содержащиеся в пестицидах, переходят в продукты питания и ухудшают здоровье потребителей и т.д. Можно заключить, что со времен «зеленой революции» 50-х гг. XX в. динамика глобального производства продовольствия характеризуется не только желательным ростом конечной продукции, но и все увеличивающимися негативными последствиями для окружающей среды, выражающимися, в частности, в последовательном сокращении плодородия и площадей плодородных почв по разным причинам. Этот процесс сопровождается увеличением затрат невозобновимой энергии на единицу растениеводческой продукции [Жученко, 2007].

Как результат: увеличение энергоемкости сельского хозяйства стало важнейшей составляющей мирового энергетического кризиса 1970-х гг.; уменьшение биоразнообразия вызвало несколько волн значительного экономического ущерба вследствие появления мутантных форм возбудителей болезней и вредителей и т.д. Не столь уж судьбоносная особенность вновь созданных сортов и гибридов (высокая отзывчивость на использование высокой агротехники, применение удобрений, пестицидов и пр.) в точке бифуркации задавала направление эволюции сельскохозяйственного производства на несколько десятилетий [Глазко, Чешко, 2007]. Одной из центральных проблем при этом является явная недостаточность информации по частной генетике, малое количество экспериментальных данных о популяционно-генетической изменчивости в процессах селекции, о возможных механизмах такой изменчивости. Решение этих задач могло бы упростить генетическое маркирование комплексов признаков продуктивности, их раннюю диагностику и, таким образом, резко увеличить эффективность и ускорить селекционную работу.

Известно, что вопросы о наличии взаимосвязей и их механизмов между изменчивостью количественных и простых, менделирующих качественных признаков являются центральными со времен оформления генетики как науки и до сих пор. Одной из главных причин затруднений, возникающих в перечисленных направлениях исследований, является недостаточное количество привлекаемых к решению этих задач генетических маркеров, ограниченность информации об их непосредственной

функции в системах целого организма, а также малое число используемых генетических маркеров, позволяющих сравнивать у разных сельскохозяйственных видов изменчивость гомологичных генов.

Однако с течением времени становится все более очевидным, что только расширение арсенала генетических маркеров, подробный анализ их изменчивости в различных условиях селекционной работы, выявление однотипных изменений у разных сельскохозяйственных видов могут позволить подойти к пониманию роли наблюдаемой изменчивости в морфофизиологической пластичности для увеличения эффективности селекционной работы. Таким образом, генетике сельскохозяйственных видов не обойтись без решения этих проблем.

Полиморфизм ДНК может быть тестирован различными способами, включая прямое определение нуклеотидной последовательности ДНК. На практике, однако, при анализе полиморфизма структурных генов чаще всего используют обработку ДНК рестрицирующими эндонуклеазами с последующим электрофоретическим разделением полученной смеси и определением длин рестриционных фрагментов. Рестрицирующие эндонуклеазы имеют строгую субстратную специфичность — сайты расщепления, поэтому генетические различия в нуклеотидной последовательности структурного гена между индивидуумами (т.е. полиморфизм на уровне ДНК) приводят к отличиям в распределении сайтов рестрикции вдоль соответствующих молекул ДНК, а следовательно, к получению смесей продуктов рестрикции, в которой длина гомологичных фрагментов будет различаться. Таким образом, полиморфизм ДНК будет тестироваться как полиморфизм длин рестриционных фрагментов (ПДРФ), *RAPD*, *ISSR*, *SNP* и многих других методов.

В то же время судить о вреде или пользе современных технологий (в том числе и растениеводства) можно лишь с учетом стремительного роста населения Земли. Скажем, население Азии за 40 лет увеличилось более чем вдвое (с 1,6 млрд до 3,5 млрд человек). Каково было бы дополнительным 2 млрд человек, если бы не «зеленая революция»? Хотя механизация сельского хозяйства привела к уменьшению числа фермерских хозяйств (и в этом смысле способствовала росту безработицы), польза от «зеленой революции», связанная с многократным ростом производства продуктов питания и устойчивым снижением цен на хлеб почти во всех странах мира, гораздо более значима для человечества.

Так, если сравнить мировую продукцию растениеводства в 1950 и 1998 гг., то при прежней урожайности для обеспечения такого роста пришлось бы засеять не 600 млн га, как ныне, а втрое больше. Между тем дополнительные 1,2 млрд га уже, по сути, взять негде, особенно в странах Азии, где плотность населения чрезвычайно высока. Кроме того, земли, вовлеченные в сельскохозяйственный оборот, с каждым годом становятся

все более истощенными и экологически уязвимыми. Влияние эрозии почв, сведения лесов и лугов на биоразнообразии все ощутимее.

С неудачами стран «третьего мира» и международных организаций, содействующих их развитию, в попытках добиться адекватной отдачи от вложений в сельское хозяйство смириться нелегко, поскольку на протяжении всей истории ни одной нации не удавалось повысить благосостояние и добиться развития экономики без предварительного резкого увеличения производства продуктов питания, главным источником которых всегда оставалось сельское хозяйство. Поэтому, как считают многие специалисты, в XXI в. предстоит вторая «зеленая революция». Без этого не удастся обеспечить человеческое существование всем, кто приходит в этот мир.

Очевидно, что потребуются немалые усилия как традиционной селекции, так и современной сельскохозяйственной ДНК-технологии, для того чтобы добиться генетического совершенствования продовольственных растений в темпе, который позволил бы к 2025 г. удовлетворить потребности 8,3 млрд человек. Для дальнейшего роста производства сельскохозяйственной продукции понадобится много удобрений, особенно в странах экваториальной Африки, где до сих пор удобрения вносят не более 10 кг на гектар (в десятки раз меньше, чем в развитых странах и даже в развивающихся странах Азии).

По оценкам специалистов, изучающих азотные циклы в природе, не менее 40% из 7 млрд человек, населяющих ныне планету, живы лишь благодаря открытию синтеза аммиака. Внести такое количество азота в почву с помощью органических удобрений было бы совершенно невыполнимо, даже если бы все мы только этим и занимались [<http://www.ecolife.ru/jornal/econ/2001-4-1.shtml>].

«Зеленая революция» создала предпосылки для решения продовольственной проблемы, но не превратила обещание победить голод к XXI в. в действительность. Засуха в США и Канаде в 1989 г. сожгла почти треть урожая и напомнила миру о неустойчивости земледелия в условиях глобального потепления. В 90-е гг. XX в. темпы производства зерна замедлились, а в ряде регионов — снизились по сравнению с 80-ми. Если принять индекс мирового производства продовольствия в 1979–1981 гг. за 100, то динамика его движения в 1993–1995 гг. приобрела отрицательное значение и составила в Африке — 95,9, в Северной и Центральной Америке — 95,4, в Европе — 99,4. Это поставило под угрозу достижения «зеленой революции» и потребовало создания принципиально новых методов для выведения новых сортов [Глазко, Чешко, 2007]. Агросистемы являются существенным источником глобального загрязнения окружающей среды. Начиная с 1960-х гг. сельскохозяйственные площади увеличились на 11%, с 4,5 до 5 млрд га, пахотных земель — с 1,27 до 1,4 млрд га. В индустри-

альных странах земли под сельскохозяйственными системами уменьшились на 3%, но увеличились на 21% в развивающихся странах. Животноводческая продукция в мире также увеличилась в 4 раза. Но область под ирригацией возросла в 2 раза, использование разных удобрений — в 4 раза, резко возросло применение пестицидов и к настоящему времени достигло 2,56 млрд кг.

То есть неустойчивость глобального сельскохозяйственного производства стала очевидным реальным фактом. Теперь уже еще более острой проблемой становится связь роста продовольственной продукции с деградацией экосистем, уменьшением невозобновляемых ресурсов. Британская рабочая группа Королевского общества Англии, возглавляемая Давидом Баулкомбе, предложила новую концепцию «устойчивой интенсификации» производства пищевых ресурсов, которая подразумевает увеличение вклада биологических наук в развитие целенаправленных исследовательских программ по получению растительных культур, устойчивых к стрессам и болезням, сохранение биоразнообразия, использование возобновимых ресурсов и уменьшение нагрузки на экосистемы.

Положение в сельском хозяйстве осложнилось в связи со снижением плодородия и сокращением пахотных земель. По данным исследования, проведенного в 1991 г., потери верхнего слоя земли вследствие ее деградации в 16–300 раз превышали способность почвы к естественному восстановлению в различных регионах мира. По оценкам другого исследования, только деградация земли с 1945 по 1990 г. привела к снижению производства продовольствия в мире на 17%. Попытки компенсировать эти потери за счет ирригации и химизации дали определенный эффект, но разрушающе воздействовали на окружающую среду.

Широко известны медицинские проблемы, связанные с действием возбудителей болезней растений, в частности грибов, на организм человека. Так, продукты жизнедеятельности грибка аспергил — афлатоксины — являются опасными канцерогенами. Сегодня этим неистребимым грибком заражены посевы зерновых по всему миру — 20–25% площадей в зависимости от культуры и региона. И эти афлатоксины мы, не ведая об этом, потребляем, например, с хлебом. ГМО-сорта с устойчивостью к грибковым заболеваниям не несут никаких токсических нагрузок. Некоторые исследователи, в частности д-р Ву, считают, что проблемы заболеваний, которым подвержены растения, на порядок выше той, что связана с ГМО.

Учитывая возрастающий интерес фермеров и других производителей к биотехнологической продукции, увеличению посевных площадей под ГМО-культурами, в рамках государственных инициатив предусмотрено углубление научных исследований по оценке риска биотехнологической продукции. Ученые, как правило, высказываются за принцип «осторож-

ного отношения». Восприятие риска, его оценка, несомненно, зависят от уровня культуры нации. Например, даже «зеленые», протестуя против ГМО-растений в сельском хозяйстве, не против использования ГМО в медицине и фармакологии, хотя они не представляют проблем, возникающих и в этой области (см. ниже). Те же «друзья Земли» признают безопасность устойчивых к гербицидам растений. Да и у нас никому не приходит в голову протестовать против генно-инженерного (человеческого) инсулина, которому диабетики в своей массе отдают предпочтение перед отечественным «свиным».

Во многих странах мира уже применяются в растениеводстве так называемые трансгенные (точнее другой термин — модифицированные) растения — соя, кукуруза, хлопок, рапс, картофель и многие другие, устойчивые к определенным пестицидам или насекомым. В 1995 г. в США зарегистрирован модифицированный сорт картофеля «Новый лист», устойчивый к колорадскому жуку (компания «Монсанто»). Уже в следующие два года модифицированный сорт картофеля зарегистрировали у себя Канада, Япония, Мексика. Многие страны Европы, Южной Америки, Австралия проводят сегодня испытания модифицированных сортов растений.

Позитивные стороны модификации растений очевидны: упрощение технологий выращивания сельскохозяйственных культур; существенное снижение энергозатрат, а главное — загрязнения окружающей среды пестицидами. Кроме того, ГМО-растения дают значительное повышение урожайности за счет снижения вредных воздействий насекомых и микроорганизмов, снижение себестоимости, а следовательно, и цен на продукты питания.

В сельском хозяйстве происходит ежегодный вынос с урожаем значительных количеств биогенных элементов, почва постепенно обедняется ими, истощается. Внесение минеральных удобрений компенсирует эти потери и позволяет получать относительно устойчивые высокие урожаи. Вместе с тем, не будучи связаны в гумусе, минеральные соли легко вымываются почвенными водами, постепенно стекают в водоемы и реки, уходят в подземные водоносные горизонты. В самой почве избыток минеральных солей изменяет состав почвенных животных и микроорганизмов, создающих гумус, его становится все меньше, и почва, теряя естественное плодородие, становится чем-то вроде мертвого пористого материала для пропитки минеральными солями. А промышленные удобрения всегда содержат примеси тяжелых металлов, склонных накапливаться в почве.

Процесс разрушения почвы значительно ускоряется применением ядохимикатов, убивающих вместе с вредителями почвенных насекомых, червей, клещей, без которых образование гумуса сильно тормозится. Посте-

ленно продукция с таких полей становится все более загрязненной нитратами от избытка удобрений, пестицидами и тяжелыми металлами. Такая интенсификация земледелия дает, конечно, кратковременные положительные результаты, но все более обостряет проблему потери почвенного плодородия и сокращения земельных ресурсов.

Дальнейшее расширение посевных площадей приведет к катастрофическому ускорению исчезновения видов. Биологические методы поддержания плодородия почв — органические удобрения, смена и оптимальное сочетание культур, переход от химической защиты растений к биологической, строго соответствующие местным особенностям почв и климата способы обработки почв (например, безотвальная пахота) — необходимые условия сохранения и повышения плодородия почв и стабилизации производства продовольствия достаточно высокого качества и безопасного для здоровья людей [Глазко, Чешко, 2007].

Сокращение урожая и сценарии возможного решения продовольственной проблемы

Известны проблемы замедления роста урожайности, сокращения пашни с 0,24 га в 1950 г. до 0,12 га на человека в наши дни, дефицита и загрязнения водных ресурсов, изменений климата. В этих условиях внедрение в практику ГМО — единственная пока альтернатива традиционному ведению сельского хозяйства. Можно ожидать, что ГМО будут играть особую роль в новой «зеленой революции». Поток информации о ГМО позволяет предполагать, что они способны помочь решению множества проблем — от обеспечения продуктами питания растущего населения Земли до сохранения биологического разнообразия на планете и уменьшения давления пестицидов на окружающую среду. Один из аргументов в пользу ГМО сводится к тому, что именно «традиционное» сельскохозяйственное производство служит основным источником загрязнения окружающей среды. Решение этой проблемы может быть получено путем активного использования достижений биотехнологии, особенно в культивировании генетически модифицированных сортов зерновых, не требующих значительного применения пестицидов. Фермеры, выращивающие ГМО, используют меньше пестицидов, чем «традиционные» земледельцы.

Переход к трансгенным растениям (ГМО) — это смена модели «один вредитель — один химпрепарат» парадигмой «один вредитель — один ген». Вредители быстро адаптируются к новым условиям и приобретают устойчивость к новым поколениям инсектицидов. Например, колорадский жук приобретает устойчивость за два поколения. Борьба за рынки сопровождается интенсивным продвижением ГМО в новые регионы

мира. Культивирование ГМО в крупных природных географических комплексах, где все элементы находятся в сложном взаимодействии и образуют единую систему, чревато обострением экологических проблем, связанных уже с монокультурным сельским хозяйством.

На выведение «золотого риса» было потрачено 10 лет и 100 млн долл. Теперь ученым из Международного исследовательского института риса, расположенного в Филадельфии, предстоит завершить доведение «лабораторного» продукта до коммерческого вида, на что потребуется от четырех до восьми лет. Однако с учетом того, что все это время 900 млн людей, живущих за чертой бедности (в основном в Азии, где основным продуктом питания как раз и является рис), будут продолжать страдать от голода и многочисленных болезней, сотрудники института готовы бесплатно передать новый рис любому государству, которое пожелает заняться его разведением. А ученые тем временем доведут до конца опыты с выведением «железного» риса, который, благодаря повышенному содержанию железа, способен помочь 2 млрд страдающих от анемии людей.

Производство продуктов питания на душу населения в 1998 г. превысило показатели 1961 г. на четверть и оказалось на 40% дешевле. Однако проблемы производства продовольствия и борьбы с голодом нельзя считать решенными [Глазко, Чешко, 2007].

Сельское хозяйство — уникальный вид человеческой деятельности, который можно одновременно рассматривать как искусство и науку. И всегда главной целью этой деятельности оставался рост производства продукции, которое ныне достигло 5 млрд т в год. Чтобы накормить растущее население Земли, к 2025 г. этот показатель предстоит увеличить по меньшей мере на 50%. Но такого результата производители сельскохозяйственной продукции смогут достичь только в том случае, если в любой точке мира получат доступ к самым передовым методам выращивания самых высокоурожайных сортов культурных растений. Для этого им необходимо также овладеть всеми последними достижениями сельскохозяйственной биотехнологии, в частности получения и выращивания генетически модифицированных организмов [Глазко, Чешко, 2007], [<http://www.ecolife.ru/jornal/econ/2001-4-1.shtml>].

ПРИКЛАДНЫЕ ДНК-ТЕХНОЛОГИИ. ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Человечество всегда предпочитало мифы, а не реальность. С мифами проще жить. Но со времени вторичного открытия законов Менделя наши представления о мире изменились самым радикальным образом. Примерно так же, как выяснилось, что земля не плоская, а круглая. Или после того, как Галилей объяснил, что земля вращается вокруг Солнца, а не наоборот. После теории Дарвина, когда мы вдруг поняли, что мы не «венец творения», а все в этом мире родственники, наше мышление, я надеюсь, изменилось навсегда [Глазко, 2006].

Человечеству требуется все больше продуктов питания и промышленного сырья, получаемого из растений. Рост численности населения на Земле этого требует. Поэтому усовершенствование растений, предназначенных для использования в сельскохозяйственном производстве, сейчас является наиболее интенсивно развивающейся областью. Особую важность это приобретает в связи с особенностями высокой изменчивости экологических условий, обусловленной климатическими колебаниями, истощением плодородия почв, увеличением их загрязненности физическими и химическими экотоксикантами. В этих условиях, учитывая невозможность влияния на большинство факторов экологического стресса, очевидным становится необходимость получения новых форм растений, сочетающих необходимую продуктивность с высоким адаптивным потенциалом к неблагоприятным воздействиям. И создание новых форм растений, несущих желательное сочетание соответствующих характеристик, невозможно без использования ДНК-технологий.

Природа воздвигла между далекими видами непреодолимый барьер, который мешает селекционной работе. Селекционерам удалось получить гибрид капусты и редьки, но, к их глубочайшему разочарованию, он имел корни капусты, а ботву — редьки! А вот ДНК-технологи — генные инженеры — почти с первой попытки смогли сотворить гибрид свеклы со шпинатом и, если потребуется, смогут вырастить все что угодно и на заказ.

Достаточно давно выяснилось, что почвенная бактерия *Agrobacterium tumefaciens* несет необходимую плазмиду, которая участвует в передаче в геном растения чужеродных генов, которые вынуждают растение синтезировать нужные бактерии белки. Под ее влиянием растительные клетки начинают безудержно размножаться и образуется растительный

нарост — галл (растительная опухоль). Выделена сама бактериальная плаزمиды (ее назвали *Ti*-плазмидой, от англ. *tumor inducing* — вызывающая опухоль). Установлено, что после заражения растения определенная часть плазмидной ДНК (Т-ДНК) способна встраиваться в хромосомную ДНК растительной клетки, становиться частью ее наследственного материала. Это генное вторжение заставляет растение синтезировать особые соединения (опины), которые служат бактерии пищей.

Оказалось, что эти бактерии с реконструированной *Ti*-плазмидой, в которую встроена нужная искусственная генетическая конструкция, создает условия для включения в геном растений гена, функционирование которого может придать растению нужные свойства. Такой способ генетической трансформации достаточно эффективен у двудольных растений, в которых подобные плазмиды обеспечивают формирование галлов; в случае однодольных ситуация оказалась сложнее, но развитие методов геномного редактирования, таких как TALEN, CRISRCas9, позволяет надеяться на успешное преодоление этой проблемы.

Надежды, которые возлагаются на генетически модифицированные (ГМ) растения, можно подразделить на два основных направления [Глазко, 2002, 2011, 2014]:

1) усовершенствование качественных характеристик продукции растениеводства;

2) увеличение продуктивности и стабильности растениеводства путем повышения резистентности растений к неблагоприятным факторам.

Создание генетически модифицированных растений чаще всего выполняется для решения следующих конкретных задач.

1. В целях увеличения урожайности путем повышения:

- а) резистентности к патогенам;
- б) резистентности к гербицидам;
- в) устойчивости к температурам, различному качеству почв;
- г) улучшения характеристик продуктивности (вкусовых качеств, облегчения метаболизма).

2. В фармакологических целях:

- а) получение продуцентов терапевтических агентов;
- б) получение продуцентов антигенов, обеспечение пищевой «пассивной» иммунизации.

Основные задачи ДНК-технологии в создании ГМ-растений в современных условиях развития сельского хозяйства и общества довольно многообразны и заключаются в следующем [Глазко, 2002].

1. Получение гибридов (совместимость, мужская стерильность).

2. Рост и развитие растений (изменение габитуса растений — например, высоты, формы листьев, корневой системы и др.; изменение в цветении — например, в строении и окраске цветков, времени зацветания).

3. Питание растений (фиксация атмосферного азота небобовыми растениями, улучшение поглощения элементов минерального питания, повышение эффективности фотосинтеза).

4. Качество продукции (изменение состава и/или количества сахаров и крахмала, изменение состава и/или количества жиров, изменение вкуса и запаха пищевых продуктов, получение новых видов лекарственного сырья, изменение свойств волокна для текстильного сырья, изменение качества и сроков созревания или хранения плодов).

5. Устойчивость к абиотическим факторам стресса (к засухе и засолению, жароустойчивость; к затоплению; адаптация к холоду, гербицидам, кислотности почв и алюминию, тяжелым металлам).

6. Устойчивость к биотическим факторам стресса (к вредителям, бактериальным, вирусным и грибным болезням).

На практике ситуация выглядит следующим образом [Глазко, 2014]: среди промышленно выращиваемых трансгенных растений доля устойчивых к гербицидам составляет 71%, к вредителям — 22%, одновременно к гербицидам и вредителям — 7%, к вирусным, бактериальным и грибным болезням — менее 1%.

Среди главных признаков, контролируемых перенесенными генами, на первом месте стоит устойчивость к гербицидам.

Среди генов, определяющих устойчивость к гербицидам, уже клонированы гены устойчивости к таким гербицидам [GM soybeans, 2007; http://www.biotechnolog.ru/ge/ge12_6.htm], как глифосат (Раундап), фосфинотрицин (Биалафос), глифосинат аммония (Баста), сульфонил-мочевинным и имидазолиновым препаратам. С использованием этих генов уже получены трансгенные соя, кукуруза, хлопчатник и т.д. В России раньше также проходили испытания трансгенные культуры, устойчивые к гербицидам. В центре «Биоинженерия» был создан сорт картофеля, устойчивый к Басте, проходящий в настоящее время полевые испытания.

Существенным направлением в получении ГМ-растений являются попытки создать *биотопливо*. Проблема создания биотоплива [Глазко, 2008, 2011; Glazko, 2015] возникла достаточно давно. Об этом мечтал еще Генри Форд. Будущий бензин можно будет извлекать из генетически модифицированных сои, кукурузы или любого другого растительного материала. Если учесть, что уже сегодня выращивают бананы с вакцинами и лекарствами, то никакой прямой ереси нет, тем более в основе нефти и растительных масел лежит одна и та же структура — углеводороды. Переход к топливным плантациям должен начаться с биодизельных топлив — их молекулярная структура настолько близка к структуре некоторых растительных масел, что на первых порах можно будет обойтись даже и без генной инженерии.

Появилась возможность создавать съедобные сорняки. Биоинженерия меняет не только растения, но и наши представления о них. Возможно, что завтра, вместо того чтобы ломать голову, как избавиться от сорняков, мы будем их есть [Глазко, Чешко, 2007]. И это точный прогноз, в результате коэволюции с человеком они приобрели такую устойчивость, которая и не снилась нашим культурным растениям...

Представить завтрашний день сельского хозяйства трудно, но с большой определенностью можно говорить о стратегических задачах, которые хотелось бы решить. Нужно учитывать, что цели и мишени естественного и искусственного отборов различны. Для людей, скажем, выгоднее получить пшеницу или ячмень с крупным зерном, легкой обмолачиваемостью. Природе же важнее не размер, а количество зерен, а вот склонность к легкому обмолачиванию может оказаться для растения даже вредной.

Такой «разнобой во взглядах» природы и человека, могущество которого все возрастает, не может губительно не сказаться на биосфере. Из огромного разнообразия растений, кормивших человека 10 тыс. лет назад, сегодня основу питания (85%) составляет всего пять видов растений. Древнее природное разнообразие местных видов заменено ныне небольшим числом специально выведенных и почти насильно внедряемых сортов, выращиваемых на обширнейших пространствах. Девяносто шесть процентов урожая гороха в США получается всего-навсего от двух его разновидностей (а было более тысячи сортов), 71% урожая кукурузы — от шести ее сортов. Великолепные по продуктивности растения используют, но они, к сожалению, становятся все более подверженными различным заболеваниям, таким, к примеру, как картофельная гниль. Растения приходится усиленно «лечить» пестицидами и прочими опасными для окружающей среды и самого человека средствами. Одна из важнейших целей ДНК-технологии — не менять среду под растения, а наоборот — растения менять таким образом, чтобы они были наиболее адаптивными к этой среде.

Селекционеры, наблюдая за работой биоинженеров, часто считают, что генетическая инженерия — это своего рода увлечение, мода, что она пройдет и никакой особой пользы практики от нее не получат. Для получения у данного растения нужных признаков требуется от двух до пяти лет (при наличии теплиц), а потом еще по крайней мере от трех до восьми лет работы традиционными методами, чтобы закрепить эти признаки у растения.

Еще одна трудность для генетической инженерии, занятой растениями, в том, что селекция новых сортов затрагивает свойства растения, контролируемые уже не одним, а сразу многими генами. Это в особенности относится к батарее генов бактерий, участвующих в азотфиксации, — генов *nif*. Но в геном растений пришлось бы сразу переносить

из бактерий сразу 17(!) генов. И даже если предположить, что все же удастся заставить работать все эти гены (например, в геноме пшеницы), то, по оценкам специалистов, такие растения снизят урожайность на 20–30% сухого веса из-за необходимости нести дополнительные энергозатраты на фиксацию азота [Глазко, Чешко, 2007].

Необходимо помнить, что геном растений сложен, как и геном человека. Поэтому вмешиваться в работу генной машины следует очень осторожно. Можно ненароком перевести генные механизмы растения из одного режима в другой, вовсе не желательный для человека. Хотя и в традиционной селекции масса таких примеров, не говоря уже о том, сколько селекционеров вообще ничего и никогда не получили. Можно вспомнить и историю с геном *opaque 2*. Еще в 1964 г. этот ген захотели использовать в США (университет Пардю) для обогащения зерен кукурузы лизином (аминокислота), что резко повысило бы питательную ценность кукурузного зерна. Перенос гена удался, но урожайность у трансформированных сортов упала на 15%, а сами зерна стали хрупкими и чувствительными к возбудителям болезней. Конечно же очень жаль, что вооруженная генно-инженерными методиками селекция не может решить все проблемы и двинуться вперед семимильными шагами. Верно, бесплатного сыра в ближайшем будущем она не обещает, но гарантирует хотя и скромные, но прочные, непрерывные и эффективные успехи в сельском хозяйстве, которые уже сейчас кормят более 6 млрд человек, по подсчетам нобелевского лауреата Борлага.

Усовершенствование качественных характеристик продукции растениеводства

В рамках данного направления ведутся работы по изменению путем генетической трансформации генетического материала растений, направленные на уменьшение накопления вредных веществ, увеличение накопления полезных и вообще коренное изменение характеристик, повышающих диетические, вкусовые и пищевые качества продукции.

Примером работ по уменьшению накопления токсичных веществ могут служить попытки создания батата (Глазко, 2002), который не накапливает цианогенных глюкозидов в корнях и листьях. Цианиды — соли цианисто-водородной кислоты (например, цианистый калий) — крайне опасные яды. Цианогенные вещества в процессе разложения или других химических превращений выделяют цианиды.

Батат как культура является важным продуктом питания 400 млн человек, главным образом в развивающихся странах. Однако накопление растениями батата цианогенных глюкозидов, таких как линамарин и (в меньшем количестве) лотаустралин, влияет на возникновение по крайней мере двух заболеваний.

В рамках этих работ сначала было проведено изучение путей образования цианогенных глюкозидов у сорго, идентифицирован ген (*CPY79A1*), участвующий в этом процессе, и найден сиквенс (аналог) подобного гена в базе данных арабидопсиса. На основании анализа последовательностей обоих генов были выделены консервативные участки (наименее отличающиеся для обоих генов). Путем полимеразной цепной реакции выполнены амплификации этих консервативных участков у батата и был выделен подобный ген, кодирующий, как оказалось, энзим, ответственный за синтез соединений, которые разлагают предшественников цианидов в батате. Было найдено два аллельных варианта данного гена и откартировано его положение в геноме. Данные используются при создании антисмысловых конструкций для блокировки этого гена, что должно предотвратить синтез цианогенных глюкозидов у батата.

Одной из проблем в ряде регионов мира является недостаток в продуктах питания железа в усваиваемых организмом формах. Особенно остро она стоит в районах Юго-Восточной Азии, где основным продуктом питания является рис [Glazko, Glazko, 2006; Глазко, Глазко, 2016]. Работа по созданию риса, способного в увеличенном количестве накапливать железо, проведена японскими учеными. Ими был изолирован ген *ферритина* (белка, одна молекула которого накапливает до 4500 атомов железа) с повышенной активностью из проростков сои. Данный ген, поставленный под контроль промотора (регуляторный сегмент в гене, отвечающий за включение синтеза определенного продукта) запасного белка сои — *глутенина*, был встроен в геном риса. Испытания линий трансформированных растений показали, что накопление ферритина в их зерне в 3 раза выше, чем в зерне исходных линий. При этом не наблюдалось увеличения накопления железа в других органах трансформированных растений по сравнению с нетрансформированными [Goto et al., 1999].

Если говорить в целом, то основные проблемы недоедания, как известно, связаны с дефицитом не только железа, но и йода, витамина А у большей части популяции Земли. Этот момент и стал отправной точкой создания «золотого риса». Это самая идеальная, человеческая работа, которую сделала наука в последнее время. Человечество долго говорило о том, что анемия, обусловленная дефицитом железа, является одним из самых распространенных и серьезных последствий нарушения питания. Недоеданию подвергаются более 2 млрд людей, преимущественно женщин и детей. Последствием недоедания беременных женщин являются миллионы смертельных случаев среди матерей и младенцев при родах, а также кровоизлияния и сепсис в послеродовой период. У детей и подростков даже незначительное недоедание может вызвать нарушения умственного развития. Люди всех возрастов в условиях недоедания страдают ослаблением иммунной системы, ухудшением физи-

ческого и умственного состояния, снижением работоспособности. Большую опасность представляет недополучение с продуктами питания адекватного количества железа, что и является основной причиной железодефицитной анемии. По данным ЮНИСЕФ, в мире 2 млрд человек страдают от такой анемии, а количество людей, испытывающих дефицит железа, почти вдвое больше — 3,7 млрд человек, подавляющее большинство из которых — женщины. В странах Африки и Азии железодефицитная анемия является причиной 20% смертей среди рожениц [Глазко, 2006].

По причине недостаточности витамина А в мире ежегодно умирает миллион детей. А еще 230 млн детей (по данным ВОЗ) живут под угрозой клинической или субклинической недостаточности витамина А — состояния, которое в большинстве случаев может быть предотвращено. Дефицит этого витамина делает детей особенно уязвимыми к любым инфекциям и осложняет протекание многих заболеваний, является также причиной слепоты, которая в развивающихся странах ежегодно поражает 500 тыс. детей. Обогащение пищи витамином А, по данным ЮНИСЕФ, на 23% снижает детскую смертность. Мы все это знали, но даже «зеленая революция», которая прошла во всем мире, не решила этой проблемы.

Известно, что для большинства населения мира рис является основным продуктом питания. Но каротиноиды, используемые организмом человека для получения витамина А, в зернах риса отсутствуют. Именно поэтому его недостаточность часто встречается там, где рис служит основной пищей. Количество железа в организме зависит как от его наличия в продуктах питания, так и от способности к его усвоению в процессе пищеварения. Лучше всего усваивается железо, содержащееся в мясе. Однако из-за дороговизны и труднодоступности мяса в бедных странах основным источником железа в пище человека являются овощи, а усваиваемость этого железа гораздо ниже, чем содержащегося в мясопродуктах. Более того, в растительной пище и в зерновых, включая рис, содержится фитиновая кислота, потенциальный ингибитор всасывания железа. Аскорбиновая кислота, которой богаты фрукты и некоторые овощи, стимулирует абсорбцию железа растительного происхождения. Однако диета населения развивающихся стран обычно также очень бедна фруктами и полноценными овощами. Именно поэтому профилактика железодефицитной анемии и недостаточности витамина А до недавнего времени велась в трех направлениях: распространение пищевых добавок (прежде всего витамина А в капсулах), повышение качества пищевых продуктов (например, добавление железа в пшеничную муку) и повышение диетологической грамотности населения. Генные инженеры, которые занялись этой проблемой, сделали просто. Они решили эту проблему, восполнив

отсутствие ключевых компонентов в повседневных продуктах питания методами ДНК-технологии.

Как отмечал Инго Патрикус, один из авторов «золотого риса», эта разработка была создана для человека; кроме того, «золотой рис» не был создан ни индустрией, ни в интересах индустрии; его применение решает жизненно важную проблему путем совершенствования традиционного образа питания; решение проблемы долговременное, бесплатное, не требующее дополнительных ресурсов; не имеет побочных эффектов, характерных для «зеленой революции»; индустрия не получает выгоды от его применения; выгоду получают социально незащищенные слои; местным фермерам технология предоставляется бесплатно и без ограничений; не создает их зависимости от большой индустрии; не дает преимуществ богатым землевладельцам; до сих пор не выявлено никакого существенного негативного воздействия на окружающую среду; не выявлено также никакого существенного риска для здоровья потребителей; традиционными методами получить такой сорт невозможно и т.д.

Биотехнологи добились и других успехов. Им удалось получить особые помидоры, выведены два новых сорта. Один предназначен для использования при приготовлении первых блюд. Для плодов этого сорта характерна повышенная плотность. Они мясисты, потому что содержат мало жидкости. У второго сорта плоды темно-красные, круглые, как апельсины, их мякоть почти так же плотна, как у дыни. Плоды хорошо хранятся и переносят транспортировку.

Скорость, с которой биотехнология осваивает в сельском хозяйстве новые рубежи, потрясает [Глазко, Чешко, 2007].

Продукты «здорового образа жизни» («healthy food products»)

С усилением понимания важности здорового образа жизни увеличился спрос на продукты питания, не содержащие вредных веществ. И здесь ДНК-технологии не могли не принять участия [Story et al. 2008; Глазко, 2002].

Голландские ученые создали сахарную свеклу, продуцирующую фруктан — низкокалорийный заменитель сахарозы. Получить такой результат удалось путем встройки в геном свеклы гена из иерусалимского артишока, который кодирует фермент, превращающий сахарозу во фруктан. Таким образом, 90% накопленной сахарозы у трансгенных растений превращается во фруктан.

Еще одним примером работ по созданию «healthy food products» может служить попытка создания безкофеинового кофе. Группой ученых на Гавайях был изолирован ген фермента ксантозин-7-метил-трансферазы, который катализирует критический первый шаг синтеза кофеина

в листьях и зернах кофе. Путем использования агробактериум-опосредованной трансформации была встроена антисмысловая версия данного гена в клетки культуры тканей кофе «Арабика». Исследования трансформированных клеток показали, что уровень кофеина в них составляет всего 2% от нормального. Если работы по регенерации и размножению трансформированных растений пройдут успешно, то их использование позволит избежать процесса химической декофеинизации кофе, что позволит не только сэкономить по 2 долл. на килограмме кофе (стоимость процесса), но и сохранить вкус испорченного таким образом напитка, который частично утрачивается при этом.

Работа по повышению качественных характеристик растениеводческой продукции хорошо иллюстрирует возможности современных ДНК-технологий в решении самых разнообразных задач [Глазко, Чешко, 2007].

Основные направления коммерческого использования генетически модифицированных растений

Исходно разработка методов трансгеноза у сельскохозяйственных животных и растений обосновывалась необходимостью конструкции новых геномов, обеспечивающих более высокую продуктивность и устойчивость к неблагоприятным воздействиям. Существенные практические достижения в этом направлении получены у растений.

В результате развития методов получения генетически модифицированных растений удалось добиться очевидных достижений в таких направлениях.

Однако далеко не все разделяют оптимизм исследователей. В США намерение биологов перейти от лабораторных опытов новых ГМО к испытаниям в природных условиях вызывает активный протест защитников окружающей среды. Противники генной инженерии требуют запретить генетические манипуляции над растениями в природных условиях. Их пугает возможность создания устойчивого к засухам, гербицидам и холоду вида растений, который, выйдя из-под контроля, начнет бурно размножаться и вытеснит всю дикорастущую флору. Но реальная смерть от голода более 2 млрд людей их не пугает.

О возможной опасности генно-инженерных работ говорят и такие факты. В последние годы в США ведутся активные действия с целью получения биологических средств для борьбы с заморозками. Ученые создали биологический «антифриз». Убытки, связанные с заморозками, составляют в США более миллиарда долларов в год. И как выяснилось, во многом тут виноваты бактерии. Именно они способствуют образованию губительных кристалликов льда. При отсутствии на поверхности листьев бактерий видов *Pseudomonas syringae* и *Erwinia herbicola* вода на растениях с падением температуры не замерзает, а становится переохлажденной. Растения при

этом могут выдерживать температуру до -8°C . Заморозки вредят растениям, только если на них образуется лед. А для начала кристаллизации сверхохлажденной воды нужны «ядра», или «центры», кристаллизации. Этими «ядрами» и служат бактерии упомянутых видов. На них-то и «называются» образующиеся кристаллики льда. Вероятно, те же микроорганизмы вызывают кристаллизацию воды и в облаках. Сначала американские ученые (Висконсинский университет) пытались бороться с бактериями, опрыскивая поле стрептомицином. Но ясно, что широкое использование этого средства неблагоприятно скажется на окружающей среде. Поэтому тактику борьбы пришлось сменить.

Было решено натравить на бактерии убивающие их вирусы — бактериофаги. Лабораторные эксперименты обнадежили. В течение нескольких часов удавалось уничтожить более 90% льдообразующих бактерий. Еще более надежным приемом было бы генно-инженерными методами так преобразовать бактерии, чтобы они более не вызывали кристаллизации льда. Удалось уничтожить в бактерии *Pseudomonas syringae* гены, определяющие это их неприятное для людей качество.

Ученые вели поиск методом проб и ошибок. Они приготовили из ДНК этой бактерии набор (библиотеку) фрагментов самой разной длины. Каждый из фрагментов был затем «вшит» в кишечную палочку, которая обычно не вызывает образования кристалликов льда. Один из фрагментов превратил *Escherichia coli* в ядро кристаллизации. Затем следующий этап этой работы — биоинженеры «вырезали» из ДНК бактерии кусок, «ответственный» за кристаллизацию. И такой ДНК (ее назвали «минус лед») заменили «нормальную» ДНК бактерии *Pseudomonas syringae*. Уже собираются распылять культуры полученных бактерий на опытных участках, засаженных картофелем, для повышения морозостойкости растений. Однако бактерии, вокруг которых образуются кристаллики льда, скорее всего, играют в природе заметную роль. При занесении их воздушными потоками в верхние слои атмосферы они способствуют образованию дождя и снега. Что произойдет, если эти бактерии, «аборигены», не выдержат «конкуренции» с модифицированными человеком микробами, неизвестно [Глазко, Чешко, 2007].

ГМО-растения, устойчивые к насекомым-вредителям

Одним из факторов риска в получении высоких и стабильных урожаев является поражение посевов насекомыми. Так, например, ущерб от поражения посевов кукурузы кукурузным мотыльком (*Ostrinia nubilalis*) в США составляет около миллиарда долларов в год. А тысячи тонн инсектицидов, расходуемых ежегодно, как известно, не очень полезны окружающей среде.

Молекулярные биологи сумели обеспечить организмы иммунитетом к их вредителям [Глазко, 2006]. Исходной точкой для исследователей послужила бактерия *Bacillus thuringiensis*. Этот микроорганизм давно известен как биологический инсектицид, искусственно выращиваемый и используемый для опыления культурных растений. С листья растений бактерии попадают в организм вредителей, нарушая пищеварительную функцию гусениц. Причиной тому служит особый белок, вырабатываемый микроорганизмами. В течение 40 часов насекомые погибают. Преимущество подобных пестицидов в том, что они совершенно безвредны для людей и животных.

Но зачем с трудом выращивать бактерии, а затем их распылять? Такой вопрос задали себе бельгийские ученые. Они выделили искомый ген белка-убийцы и, используя в качестве переносчика генов *Ti*-плазмиды, включили его «строительные элементы» в ДНК нужных растений (например, кукурузы, картошки, табака, томатов и др.). Их листва сама стала «производить» смертельный для вредителей белок.

Повышение устойчивости растений к насекомым методами ДНК-технологий достигается путем встраивания в геном растений генов, под контролем которых осуществляется синтез веществ, токсичных для насекомых и безопасных для людей и животных.

Наиболее распространенным приемом сейчас является введение гена *Bt*-токсина — естественного инсектицида, вырабатываемого почвенными бактериями *Bacillus thuringiensis*. Данный белок термонестабилен, т.е. разрушается при термической обработке продукции. Кроме того, он нетоксичен для теплокровных животных. Почвенная грамположительная бактерия *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) продуцирует в процессе спорообразования кристаллические белковые включения, в состав которых входят белки, называемые *Cry*-белками. Они обладают селективным действием против узких групп насекомых, причем различные классы белков эффективны для применения против разных насекомых-вредителей. *Cry*-белки присоединяются к специфическим участкам клеток пищеварительной системы насекомых и образуют ион-селективные каналы в клеточных мембранах. Они распознают особый рецептор в пищеварительной системе контролируемого насекомого. Это приводит к чрезмерному поступлению воды, клетки разбухают, что приводит к лизису и последующей гибели насекомого.

Bt-защищенные растения экспрессируют один или несколько *Cry*-белков для защиты от чешуекрылых и жесткокрылых вредителей.

Природа заранее все продумала. В мире известны тысячи штаммов *Bt* с разнообразными генами и широким потенциалом биологически активных белков. В целом эти штаммы представляют богатейший источник структурных компонентов многочисленных будущих препаратов для борьбы с самыми разнообразными вредителями.

Успехи генной инженерии неизмеримо расширили спектр биологических объектов, перспективных в качестве доноров генов. Помимо растений, ими могут быть насекомые, грибы, бактерии, вирусы. Отсюда стремление биотехнологических компаний создавать свои частные банки генов. Так, фирма «Бристайл-Майерс» (США) имеет патенты на многие бактериальные культуры, в числе которых образцы из Индии, а также Филиппин, Фиджи, Бразилии, Перу и др. По нормам промышленного патентования фирма приобретает монопольное право на их использование.

В настоящее время компаниями «Monsanto», «AgrEvo», «Mycogen» и «Novartis» созданы другие трансгенные формы, устойчивые к насекомым, так называемые *Vt*-растения — соя, хлопчатник, кукуруза.

Специалисты и ученые полагают, что применение *Vt*-растений может иметь не только хорошее коммерческое будущее, но и экологический эффект, хотя имеются и альтернативные точки зрения [Глазко, 2006; Энгдаль, 2009; Cheshko et al., 2015]. Известно, что только 5% внесенного инсектицида срабатывает по назначению, остальные 95% попадают в окружающую среду, уничтожая многие виды насекомых, в том числе и полезных. Сокращение же объемов применения инсектицидов приведет к восстановлению популяций многих полезных насекомых, что, несомненно, положительно скажется на многих видах растительного и животного мира.

В Китае получены трансгенные растения более 100 видов, которые включают основные злаки (рис, пшеница, кукуруза, сорго), а также хлопчатник, сою, рапс, арахис, овощные культуры (кочанная и цветная капуста, перец), плодовые (яблоня, цитрусовые, киви), древесные (тополь, эвкалипт, шелковица). Более 100 генов, включая маркерные, использованы в этих экспериментах. Трансгенный табак, устойчивый к вирусам, выращивали уже в 1994 г. на площади 36 тыс. га. Прошли полевые испытания трансгенные растения хлопчатника с генами *Vt* или ингибитора протеаз, устойчивые к насекомым, служащие исходным материалом для создания устойчивых к насекомым сортов этой культуры для различных районов Китая. Разработанный для хлопчатника в 1983 г. Жоу (*Zhou*) методом трансформации по следу пыльцевой трубки с успехом использовался для генетической трансформации риса, пшеницы, сои. Наиболее значительным успехом в Китае считается получение пшеницы, устойчивой к вирусам за счет гена белка оболочки вируса, и устойчивого к насекомым хлопчатника с геном эндотоксина *Vt*.

Первым трансгенным растением, экспрессирующим гены *Vt* и прошедшим полевые испытания, стал картофель, полученный фирмой «Монсанто». Однако кукуруза является намного более важной культурой для Америки. Только в США она выращивается на 60–70 млн акров (стоимость урожая примерно 21 млрд долл.). Огромный объем рынка привлек

и другие компании. «Пионер», «Монсанто» и «ДеКалб Дженетикс» также имеют трансгенную кукурузу.

Протеин *Vt* активен не только против европейского мотылька кукурузы, но также против юго-западного мотылька и кукурузной моли. Ориентировочные потери от этих основных вредителей кукурузы составляют 800–900 млн долл. ежегодно [Глазко, Чешко, 2007].

ГМО — гербицид-устойчивые растения

Современное сельскохозяйственное производство невозможно без применения гербицидов [Glazko, Glazko, 2015; Ivanitskaya et al., 2015]. Применявшиеся ранее гербициды, как селективные, так и тотального действия, считались сравнительно дорогими и оказывали отрицательное воздействие на окружающую среду, накапливаясь в почве, почвенных водах и произрастающих растениях. Синтезированы гербициды нового поколения, которые значительно более эффективны и поэтому применяются в очень низких концентрациях и быстро разрушаются почвенными микроорганизмами. Однако они являются неселективными и ингибируют рост как сорняков, так и всех культурных растений.

Устойчивость растений к гербицидам может возникать различными путями. Она может быть результатом точечных мутаций генов, кодирующих белок-мишень для данного гербицида. Такие мутации описаны по устойчивости к гербицидам, которые действуют на фотосинтез растений и синтез аминокислот. Эти мутации и являются причиной появления на полях устойчивых сорняков, что приводит к необходимости ротации гербицидов через определенное количество лет, когда устойчивые сорняки накапливаются в количествах, могущих снизить эффективность применения данного гербицида.

Устойчивость к гербицидам может быть связана также с амплификацией генов устойчивости. Отселектирована клеточная линия табака, устойчивая к сульфаниламочевинным и имидазолиноновым гербицидам. Фермент-мишень ацетогидоксикислая синтаза этой линии была в 50–780 раз менее чувствительна к гербицидам, чем фермент дикого типа. С помощью гибридизации по Саузерну установлено, что амплификация одного из генов, кодирующих мутантный фермент, достигала примерно 20 копий. Определена природа устойчивости мутантного фермента, связанная с заменой пролина в 196-м положении серином.

Фермент ацетолактатсинтаза (*ALS*) является мишенью для ряда гербицидов: сульфаниламочевин, имидазолинонов и триазолпиримидинов. Проведено клонирование гена *ALS*, его мутагенез *in vivo* и *in vitro* и трансформация гербицид-устойчивого гена в растения рапса с помощью агробактерий. Отбор по устойчивости к канамицину и непосредственно к хлорсульфурону привел к появлению гербицидоустойчивых растений.

Проведены полевые испытания трансгенных линий табака по чувствительности к сульфанилмочевинным гербицидам. В отсутствие обработки гербицидами обе трансгенные линии уступали контролю по урожаю.

При трансфекции протопластов табака геномной ДНК мутанта арабидопсиса, устойчивого к хлорсульфурону, толерантные каллусные линии получены с частотой $4,7 \cdot 10^{-6}$.

Глифосат является активным ингредиентом неселективного гербицида раундапа. Он ингибирует синтез ароматических аминокислот (фенилаланин, тирозин, триптофан) у бактерий и растений, а *aroA*-ген кодирует фермент-мишень EPSP синтазу (3-енолпируват шикимат-5-фосфат синтазу), на которую действует глифосат.

Доказательством подобной функции было клонирование *aroA*-гена *Eshirichia coli*: при его введении в мультикопийные плазмиды наблюдалась 5–17-кратная суперпродукция EPSP синтазы и, как следствие, 8-кратное повышение устойчивости к глифосату.

Из кишечной палочки клонирован ген, введение которого в табак привело к получению устойчивых к глифосату растений.

При получении трансгенных растений петунии (*Petunia hybrida*) с высоким уровнем экспрессии *aroA*-гена они были устойчивыми к глифосату. Линия сои с агробактериальным геном, слабо чувствительным к глифосату, была очень устойчива к гербициду в полевых условиях, перенося обработку до 1,68 кг/га глифосата без видимых повреждений.

Клонирован также ген фермента глифосатоксидоредуктазы, превращающий глифосат в нетоксичное соединение — аминотилфосфоновую кислоту.

Комбинация двух генов *CP4* и *GOX* использовалась фирмой «Монсанто» в качестве селективируемых генов при трансформации кукурузы и некоторых двудольных. При микробомбардировке незрелых зародышей микрочастичками вольфрама, покрытыми ДНК плазмиды, несущей *CP4*- и *GOX*-гены, получены трансгенные растения пшеницы, устойчивые к коммерческим концентрациям глифосата.

В настоящее время изучен ряд штаммов стрептомицетов, которые в качестве вторичного метаболита продуцируют антибиотик биалафос (фосфинотрицин), который был впервые выделен в культуре бактерий *Streptomyces viridochromogenes* в 1972 г. Он представляет собой трипептид и состоит из фосфинотрицина и двух остатков аланина. Биалафос был выделен также из одного штамма *Streptomyces hygroscopicus*.

Гербицид биалафос (фосфинотрицин) ингибирует глютаминсинтазу, *bar*-ген кодирует фермент, который ацетилирует гербицид, превращая его в нетоксичное соединение. Трансгенные растения с *bar*-геном приобретают устойчивость к данному гербициду.

В создании растений, устойчивых к гербицидам, сейчас используют [http://www.biotechnolog.ru/ge/ge12_6.htm] два основных принципа, обеспечивающих реализацию задачи. *Гиперэкспрессия* — значительное повышение синтеза продукта, против которого направлено действие гербицида. В этом случае при использовании гербицида в дозах, летальных для других растений, в ГМ-растениях будет ингибирована только часть данного продукта. Оставшегося количества будет достаточно для поддержки функций организма. Поэтому гербицид не окажет на растение летального действия. Примером реализации такого подхода явилась работа [Lermontova, Grimm, 2000] по созданию растений табака, устойчивых к ацифлуорифену. Данный гербицид ингибирует фермент протопрофириноген IX оксидазу (*PPOX*), участвующий в синтезе хлорофилла. Авторами было идентифицировано у табака два гена: *PPOX-1*, кодирующий хлоропластный фермент, и *PPOX2*, кодирующий митохондриальный фермент. После этого растения табака были модифицированы генно-инженерной конструкцией, содержащей ген *PPOX-1*, что обеспечивало высокий уровень его синтеза в молодых листьях. В результате трансгенные растения имели повышенный уровень содержания данного фермента, который коррелировал с их повышенной устойчивостью к ацифлуорифену.

Другим путем создания устойчивых к гербициду растений является поиск генов, которые не ингибируются данным гербицидом, и последующее внедрение их в геном культурных растений. В этом случае культура не будет реагировать на использование гербицида вообще, в то время как сорняки будут погибать. Примером данного подхода может служить внедрение в геном пластидов табака гена петунии, обеспечивающего устойчивость к гербициду глифосату [Daniell et al., 1998].

Специфической проблемой создания и использования генетически модифицированных культур, устойчивых к гербицидам, является предотвращение возможности переноса генов устойчивости к сорным растениям путем переопыления с дикими родственниками. Интересный подход в решении этой проблемы — использование технологий, позволяющих целенаправленно встраивать генно-инженерные конструкции в ДНК цитоплазматических органелл (митохондрий и пластидов). Гены цитоплазматических органелл наследуются нехромосомно по материнской линии. Поэтому они не могут быть переданы с пылью диким родственникам, с которыми способна скрещиваться данная культура. Об успешном эксперименте в этом направлении сообщено Daniell et al. (1998). Здесь была успешно проведена встройка путем гомологичной рекомбинации гена *EPSPS* петунии, который обеспечивает устойчивость к глифосату, в пластиды табака. ГМ-растения оказались устойчивыми к гербициду, в то время как контрольные погибли в течение двух недель после обработки.

Площади возделывания ГМ-растений, одновременно устойчивых к гербицидам и насекомым, последовательно ежегодно увеличиваются. Примерами этой группы могут быть кукуруза и хлопчатник, устойчивые к раундапу и одновременно устойчивые к кукурузному мотыльку и хлопковой совке соответственно [Глазко, Чешко, 2007].

ГМО-растения, устойчивые к болезням

При атаке различных патогенов в растениях включается целый набор различных механизмов, результатом работы которых могут быть: полное невосприятие патогена (иммунитет); быстрая программируемая гибель клеток в фокусах прямой атаки патогена (сверхчувствительная реакция) и различные степени поражения, вплоть до полной гибели растения.

В обеспечении защиты растений от заболеваний, вызываемых грибами, бактериями и вирусами, участвует ряд ключевых механизмов, модификация которых в настоящее время уже используется для получения устойчивых растений. Перечень таких ключевых этапов защиты растений от заболеваний, индуцируемых патогенными агентами, и примеры их модификаций представлен ниже.

Усиление сигнальных систем, участвующих в формировании иммунного ответа. Растения узнают патоген по сигнальным молекулам — *элизиторам*. У многих видов растений в ответ на атаку патогенов возникает системно индуцированная устойчивость (*SAR*), эффект которой может продолжаться неделями и месяцами [Глазко, 2006]. Идентифицирован ряд генов *SAR*. Растения, в которых экспрессировалась ДНК этих генов, характеризовались высоким уровнем толерантности к патогенам. Одной из первых реакций для индукции *SAR* становится синтез салициловой кислоты.

Одним из самых ранних ответов на атаку патогена является накопление H_2O_2 и других активных форм кислорода. В дополнение к его окислительному потенциалу для гибели или ингибирования клеток патогена H_2O_2 вовлечен также в ряд защитных механизмов. Обнаружен быстрый синтез перекиси водорода при несовместимой реакции не только как локальный пусковой сигнал (триггер) индукции сверхчувствительной гибели клеток, но также как диффузный сигнал для активации генов защиты, например, глутатионтрансфераз в окружающих клетках.

Реакция растений на патогены определяется «совместимостью», когда патоген преодолевает механизмы защиты растения и проявляются симптомы поражения, или «несовместимостью», когда механизмы устойчивости исключают или существенно тормозят развитие патогена. Еще в 1971 г. Флор выдвинул гипотезу, согласно которой реакция «несовместимости» может контролироваться одной парой генов: геном *R* устойчивости растения и геном *Avr* авирулентности патогена.

Эти *R*-гены часто объединены в комплексы. Они могут претерпевать рекомбинации, дупликации, делеции и другие перестройки генетического материала хромосом, что и приводит к эволюции новых вариантов специфической устойчивости. На проявление устойчивости могут также влиять эффекты дозы генов, неаллельные взаимодействия и эпистаз, а также их эффект может модифицироваться генетическим окружением растения-хозяина. Эти гены-модификаторы не всегда способны сами влиять на реакцию устойчивости, однако возможно, что они образуют систему генов от детерминантов специфического узнавания до генов, кодирующих соединения, которые и вызывают гибель клеток при несовместимых комбинациях.

В последние годы для получения трансгенных растений, устойчивых к болезням, разрабатывали такие подходы: синтез значительных количеств антигрибных протеинов, таких как хитиназы, глюканазы, и белков, инактивирующих рибосомы; синтез низкомолекулярных фунгитоксических соединений, таких как фитоалексины и дефензины. Возможно также получение трансгенных растений, синтезирующих новые фитоалексины или фитоалексины измененной структуры.

Проведены опыты по повышению устойчивости табака к фитофторе (*Phytophthora parasitica*) путем встройки гена, кодирующего бета-криптогеин под конститутивным промотором вируса 35S мозаики цветной капусты. Трансгенные растения показали повышенную устойчивость к ряду рас данного гриба [Terfer et al., 1998].

Усиление синтеза веществ, токсичных для патогенов. В томаты встроены два гена ферментов, катализирующих синтез веществ, повышающих устойчивость к фитофторозу, что привело к повышению на 65% их устойчивости по сравнению с контролем [Thomzik et al., 1997]. Другие исследователи [Tabei Y. et al., 1998] трансформировали огурцы геном хитиназы риса, повысившим резистентность к серой плесени.

Управление программируемой гибелью клеток (апоптозом). Апоптоз — контролируемая гибель клеток, которая является одним из защитных механизмов растений, когда в ответ на атаку патогена происходит синтез цитотоксических соединений в пораженных клетках и локальная гибель клеток — так называемая сверхчувствительность. В процессе развития растений программируемая гибель клеток (ПГК или апоптоза) наблюдается при старении органов, созревании плодов, ксилогенезе, старении створок бобов и т.д. В клетках, претерпевающих ПГК, отмечается активность протеаз и нуклеаз, деградирующих белки и нуклеиновые кислоты. Эти протеазы включают цистеиновые, металло-, сериновые и протеазы аспарагиновой кислоты.

В настоящее время еще не ясны детали ПГК клеток растений, однако уже ясно, что основные этапы ПГК клеток животных и растений одина-

ковы. Морфологически это наблюдается в виде сморщивания цитоплазмы, конденсации ядра, образования везикул мембран. Биохимические изменения включают приток ионов кальция, высвобождение фосфатидилсерина, активацию специфических протеаз, фрагментацию ДНК.

Проникающий в клетку инфекционный агент использует клетки растения-хозяина как субстрат для своего роста, развития и размножения. Одним из путей защиты растений является гибель инфицированных клеток. В то же время субстратом некоторых грибов являются именно мертвые клетки. Поэтому предотвращение гибели клеток в некоторых случаях делает невозможным рост и развитие патогена, что препятствует его распространению у растения. В этой связи разрабатываются методы контроля апоптоза.

Разработка приемов управления апоптозом путем использования ДНК-технологий — один из путей повышения иммунитета растений к инфекциям. Это достигается путем введения генов, которые управляют апоптозом. Приведем несколько примеров таких работ.

Предотвращение гибели клеток в некоторых случаях делает невозможным рост и развитие паразита, чем препятствует его распространению в растении. Гриб *Sclerotinia sclerotiorum* выделяет токсин, летальный для клеток растений-хозяев, и использует вещества мертвых клеток для питания. Растения табака были трансформированы геном нематоды *CED-9*, который ингибировал апоптоз [Collazo et al., 2006]. Трансгенные растения имели повышенную резистентность к данному возбудителю и останавливали его распространение из точки инокуляции. Данная работа интересна не только тем, что предлагает новую стратегию усиления механизмов защиты растений, но и тем, что демонстрирует общность путей контроля апоптоза у растений и животных (*Dickman*). Трансгенные томаты, несшие ген бакуловируса *p35*, ингибирующий апоптоз, также имели усиленную резистентность к возбудителям грибковых и бактериальных инфекций. К подобным выводам пришел Дэвид Гилчрист (Калифорнийский университет), выполняя работу по изучению действия микотоксинов на клетки животных и растений. Он сообщил, что один из токсинов (сфинганин), который вызывает лизис тканей мозга лошадей, также вызывает апоптоз у инфицированных растений. Был также сделан вывод о том, что путем стимулирования апоптоза грибы создают себе субстрат, поэтому его ингибирование может предотвращать развитие грибной инфекции.

Подход, обратный описанному выше и заключающийся в стимулировании апоптоза, также может быть использован для защиты растений от инфекций.

Компанией «Монсанто» разработан способ получения трансгенных растений, устойчивых как к бактериальной, так и грибной инфекции.

В картофель вводят грибной ген, кодирующий синтез фермента, окисляющего глюкозу с образованием пероксида водорода. Полученные растения устойчивы и к мягкой гнили, и к фитофторе.

Относительно недавно открыты короткие пептиды, богатые остатками цистеина, обладающие антимикробными свойствами. Они названы *дефензинами* [Wilson et al., 2016].

В настоящее время создаются трансгенные растения томатов, картофеля, рапса, моркови, яблони и груши с геном дефензинов редьки. Аналогичная работа проводится по созданию трансгенной капусты и малины [Глазко, Чешко, 2007].

Устойчивость к вирусам и вириодам

Одним из первых достижений в защите растений методами генетической инженерии явилось создание трансгенных растений, устойчивых к вирусам, путем внесения генов белков вирусной оболочки. Устойчивость обычно ограничена только вирусом, ген оболочки которого трансфицирован в донорное растение. Причем эта устойчивость может быть настолько специфической, что может проявляться только для мутантной формы вируса и не срабатывать для вируса дикого типа, если введен ген белка оболочки этого мутантного вируса.

Один из оригинальных методов защиты растений от вирусов с помощью трансгеноза [Глазко, 2002] предложен В. Шибальским в 1988 г. Его сущность заключается во введении в геном растений трансдействующих доминантных летальных генов или, по терминологии Шибальского, «антигенов», которые кодируют измененные мутациями белки вирусов, существенные для их воспроизводства, и путем конкурентного замещения соответствующих белков вируса дикого типа прерывают его размножение. С использованием такого подхода удалось получить очень высокую устойчивость растений к вирусу *X* картофеля (*PVX*). В этом случае в ген репликазы *PVX* с помощью направленного мутагенеза вводили мутации, сопровождающиеся заменой аминокислот в консервативном участке полипептидной цепи репликазы, ассоциированном с ее каталитическим сайтом. Для экспрессии мутантного трансгена в растениях табака были характерны внутриклеточное накопление инактивированной репликазы и появление высокой устойчивости растений к заражению вирусом *PVX*.

Со времени обнаружения в 1986 г. факта устойчивости растений табака к вирусу табачной мозаики при введении гена белка оболочки этого вируса подобная устойчивость получена для большого количества вирусов различных таксономических групп. Уже проведены полевые испытания устойчивых к вирусам растений, полученных при использовании этих подходов.

При введении в растения риса гена, кодирующего белок оболочки вируса *hoja blanca*, вызывающего значительные потери урожая в странах тропической Америки, отмечено ослабление симптомов поражения, увеличение различных агрономических показателей. Трансгенные растения с самым высоким уровнем экспрессии трансгена имели только один или несколько листьев с симптомами вирусного поражения.

Один из коммерческих сортов картофеля (Бзура) был трансформирован конструкцией гена оболочки вируса курчавости листьев в смысловой и антисмысловой ориентации. В смысловой ориентации структурной части этого гена предшествовала лидерная последовательность короче, чем таковая у субгеномной РНК, образующейся у инфицированных клеток. Антисмысловая конструкция включала последовательность, комплементарную первым 2020 нуклеотидам субгеномной РНК. Трансгенные растения, экспрессирующие вирусную РНК, были устойчивы к вирусу при поражении тлями — переносчиками вируса. У одной линии с антисмысловой ориентацией гена инфекция отсутствовала даже при прививке растений на инфицированные подвои.

Получены трансгенные растения различных сортов гороха с геном белка оболочки вируса мозаики люцерны, вызывающим значительные потери урожая и снижение качества семян. Идентифицированы три линии трансгенных растений гороха, потомство которых было устойчивым при механической инокуляции этим вирусом. Другой современный подход к получению трансгенных растений, устойчивых к вирусам, основан на введении в них трансгенов, синтезирующих в клетках моноклональные антитела, направленные против вирусных белков. В одной из работ с использованием такого метода создали эффективную систему защиты растений от вируса морщинистой мозаики артишока. Еще одним способом является введение генов, кодирующих РНК-зависимую РНК-полимеразу (репликазу) [Глазко, Чешко, 2007].

Репликазы — ферменты, осуществляющие самокопирование молекулы нуклеиновой кислоты: если на матрице ДНК — ДНК-репликаза; если на матрице РНК — РНК-зависимая ДНК-полимераза. В ряде случаев эта устойчивость была достаточно высокой, чтобы полностью подавить накопление вирусов в инокулированных растениях.

Изучена возможность получения трансгенных растений, устойчивых к вирусам, за счет индукции у них белков общего ответа на инфекцию вирусами. В растения табака и люцерны интродуцирован ген интерферона человека. При инфицировании ВТМ растений табака и вирусом мозаики люцерны растений люцерны наблюдали задержку в развитии симптомов болезней у трансгенных растений.

Вероятно, наиболее рациональным типом генетически-инженерной устойчивости трансгенных растений к вирусам является та, что воздей-

ствует на процесс репликации. Ингибируя процесс репликации, можно быть достаточно уверенным, что вирус не сможет накапливаться в количествах, достаточных для преодоления индуцированной устойчивости, или мутировать в форму, способную преодолеть эту устойчивость. Опубликованные данные показывают, что связанная с репликазой устойчивость может быть очень эффективной и действительно влиять на процесс репликации вирусов. Имеются сообщения, что эта устойчивость может распространяться на достаточно широкий спектр вирусов при использовании модифицированного гена репликазы.

Устойчивость к вирусам может быть индуцирована также внесением генов, кодирующих рибозимы, способные расщеплять РНК вирусов в обычной или антисмысловой ориентации [Глазко, Чешко, 2007].

Активизация защитных систем организма

В обеспечении защиты растений от заболеваний, вызываемых грибами, бактериями и вирусами, задействован ряд механизмов. Задачи ДНК-технологии в этом направлении состоят в том, чтобы активизировать у растений эти механизмы. Рассмотрим, какие это механизмы и каким образом достигается их активизация.

Усиление сигнальных систем, участвующих в формировании иммунного ответа. Иммунные реакции включаются у растений (как и у других организмов) только в ответ на попытку проникновения возбудителя. Усиление передачи сигнала о нападении является одним из способов активизации защитных свойств растений.

Проведены опыты по повышению устойчивости табака к фитофторе. Растениям был встроен ген, кодирующий бетакриптогеин (белок размером в 98 аминокислот) под конститутивным промотером вируса 35S мозаики цветной капусты. Трансгенные растения показали повышенную устойчивость к ряду рас данного гриба [Terfer et al., 1998].

Усиление синтеза веществ, токсичных для патогенов. Один из механизмов защиты от патогенов у растений — синтез веществ, обладающих токсичностью для патогенов. Здесь имеются несколько путей: постоянный синтез веществ (когда они постоянно содержатся в тканях растения); гиперчувствительный ответ (синтез идет только при контакте с возбудителем). При этом токсичные вещества могут обладать разной избирательностью — обеспечивать защиту от одного конкретного инфицирующего агента или от ряда патогенов. Сейчас широко развернуты работы по усилению иммунитета растений путем активизации синтеза защитных веществ методами ДНК-технологий.

Так, в томаты было встроено два гена стилбенесинтетазы винограда, фермента, катализирующего синтез фитоалексина (ресвератрола), повышающего устойчивость к фитофторозу, под собственным промотером.

Трансгенные растения показали повышенную на 65% устойчивость к фитофторозу по сравнению с контролем [Thomzik et al., 1997; Глазко, Чешко, 2007].

Устойчивость к абиотическим факторам

Развиваются методы использования ДНК-технологий и для повышения устойчивости растений к неблагоприятным абиотическим факторам. Один из наиболее опасных абиотических факторов — заморозки. Физиологические процессы акклиматизации к ним у растений регулируются рядом генов, получивших название «cold-regulated» (*COR*). Группой Томашова идентифицирован ген *CBF1*, который регулирует экспрессию многих *COR*-генов, являясь их «главным выключателем» [Medina et al., 1999]. Были созданы трансгенные растения арабидопсиса, у которых обеспечена гиперэкспрессия гена *CBF1*. Трансгенные растения оказались способными выдерживать резкое понижение температуры до $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение двух дней, в то время как контрольные растения погибали.

Расширяются работы по получению трансгенных культур, устойчивых к холоду. Например, при включении в растительный геном гена, регулирующего экспрессию других генов, включающихся при адаптации растения к холоду, получены трансгенные растения, которые выдерживают в течение двух суток отрицательные температуры, губительные для обычных растений.

Для растений также опасны высокие температуры: так, при $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ гибнет большинство хозяйственно ценных культур. Н. Мурата и соавт. (1998) трансформировали арабидопсис конструкцией, содержащей ген хлориноксидазы (фермента синтеза глицинбетанина, регулирующего осмотический баланс в клетке) из *Arthrobacter globiformis*. Глицинбетанин способствует акклиматизации растений при различных стрессах, а также защищает фотосинтетические ферменты от повреждений при высокой температуре. Трансгенные растения оказались способными к прорастанию при температуре $55\text{ }^{\circ}\text{C}$, в то время как контрольные — нет. Они также были более устойчивы к засолению и холоду. Kasuga et al. (1999) обнаружили кластер генов, участвующих в контроле ответа клеток на дегидратацию (*Dehydration Response Element*) в участке *rd29A*. Этот блок включает многие гены, индуцируемые засухой и холодом. Создана генно-инженерная конструкция из гена *DREB1A* под промотором *rd29A*. Растения, трансформированные данной конструкцией, были значительно более устойчивы к стрессовым воздействиям, чем контрольные.

До того, чтобы менять климат, человечество еще не дошло. Но путем изменения генома растений повысить устойчивость растений к ряду неблагоприятных абиотических факторов уже может.

Кенийские ученые вывели 10 сортов чая, устойчивых ко всем природным катаклизмам: засухе, морозу, заболеваниям и вредителям. Они могут расти в любой экологической зоне. При помощи генной инженерии ученые «клонировали» морозоустойчивые сорта. Кроме того, у новинок низкое содержание кофеина и высокое атоцинина — вещества, благотворно влияющего на организм людей, страдающих от тяжелых заболеваний, включая рак [Глазко, Чешко, 2007].

ГМО-растения с заданным химическим составом и структурой молекул (аминокислоты, белки, углеводы)

Качество и полезность растительных жиров зависят от сравнительного содержания пальмитиновой, стеариновой, олеиновой, линолевой и линоленовой кислот. Жиры, богатые олеиновой кислотой, стабильны к окислению, имеют лучший запах и более полезны для здоровья, тогда как жиры, богатые насыщенными жирными кислотами (линолевой и линоленовой), имеют менее качественные органолептические характеристики и менее стабильны. Большинство растительных жиров имеют более 50% насыщенных жирных кислот. В последние годы начаты работы по получению трансгенных масличных растений с измененным содержанием жирных кислот [Лутова, 2000; Глазко, 2006, 2011].

Трансгенные растения сои, несущие ген, кодирующий антисмысловую *омега-3-десатуразу* (катализирующую синтез линоленовой кислоты из линолевой), характеризовались пониженным содержанием линоленовой кислоты.

Трансгенные соя и рапс с геном *омега-6-десатуразы* имеют сниженное содержание линолевой и повышенное содержание олеиновой кислоты.

Один из лидеров этого направления — компания «Calgene». В 1995 г. эта компания получила разрешение в США на выращивание и коммерческое использование трансгенных растений рапса с измененным жирнокислотным составом. Проводятся также исследования по созданию трансгенных растений с заданным аминокислотным составом. Так, в настоящее время клонированы гены запасных белков сои, гороха, фасоли, кукурузы, картофеля.

Человек и млекопитающие требуют наличия восьми незаменимых аминокислот в рационе. Однако ни один из широко используемых в пищу белков семян не содержит сбалансированного набора всех этих аминокислот. Белки семян злаков дефицитны по лизину и триптофану, тогда как белки бобовых дефицитны по серосодержащим аминокислотам метионину и цистеину. Методами генетической инженерии возможно введение кодонов, кодирующих дефицитные незаменимые аминокислоты, а также другие гены, модифицирующие содержание дефицитных аминокислот.

Регулируя биосинтез аминокислот, можно изменять их содержание в белках. В растения турецкого гороха был введен ген треонин деаминазы (*TD*). *HPLC*-анализ свободных аминокислот показал повышение в несколько раз содержания треонина, метионина и лизина.

Содержание лизина и метионина у сои и кукурузы повышали путем введения генов новых запасных белков или модификацией генов, контролирующих основные этапы биосинтеза запасных белков.

При трансформации рапса генетической конструкцией, содержащей антисмысловый ген круциферина, у полученных трансгенных растений наблюдали повышение содержания лизина, метионина и цистеина.

До 80% фосфора в зерне злаков находится в форме фитиновой кислоты (фитата), которая откладывается при развитии зерна в виде фитина. При прорастании фитат освобождаются под действием энзима фитазы. Однако в сухих семенах, используемых при питании человека или при скормливании их жвачным животным, происходит незначительная деградация фитина.

Для улучшения питательной ценности зерна пшеницы кодирующий фитазу ген (*phyA*) *Aspergillus niger* был перенесен в пшеницу при микробомбардировке незрелых зародышей. Для направления транспорта чужеродного протеина в полость эндоплазматического ретикула к 5'-концу гена *phyA* была пришта последовательность из 72 пар оснований, кодирующая сигнальную последовательность, амилазы ячменя. Используя селекцию по *bar*-гену, который стоял под промотором убиквитина кукурузы, были получены трансгенные линии пшеницы.

Наиболее простой и очевидной стратегией в улучшении качества белка пшеницы и других злаков является увеличение числа генов, кодирующих высокомолекулярные субъединицы. Это должно привести к увеличению пропорции высокомолекулярных субъединиц белка, что, в свою очередь, должно привести к увеличению эластичности. Это направление в настоящее время разрабатывается в нескольких лабораториях, имеющих подобные гены под контролем эндосперм-специфических промоторов.

Изменение содержания углеводов. Первая работа по получению трансгенных растений с измененным содержанием углеводов была опубликована в 1992 г., когда в клубнях трансгенного картофеля было повышено содержание крахмала путем суперэкспрессии *glg C* гена *Escherichia coli*.

Имеются сообщения о получении фруктан-синтезирующих трансгенных растений табака и картофеля. Получены трансгенные растения сахарной свеклы с геном *1-sst* из артишока, кодирующим синтез сахарозофруктозилтрансферазы — фермента, превращающего сахарозу в низкомолекулярные фруктан-полимеры фруктозы. Фруктаны являются низкокалорийными осластителями, которые имеют примерно такую же сладость, как и сахар, но не усваиваются человеком. Фруктаны стимули-

руют рост полезной микрофлоры кишечника. Они рекомендуются больным, страдающим инсулин-зависимым диабетом и ожирением, и могут играть роль в снижении содержания холестерина в крови.

Некоторые фруктаны, такие как инулин, находят в тканях растений, например цикория. Однако низкое содержание этих полимеров и сложности с выделением сильно снижают их коммерческое использование. Получаемые промышленным способом в биореакторах из *Aspergillus* фруктаны имеют высокую стоимость. Ген был введен в протопласты замыкающих клеток устьиц. Запасающие корни полученных трансгенных растений имели высокое содержание низкомолекулярных фруктанов при общем содержании сахаров и сухом весе корней на уровне контрольных растений. Экспрессия *1-sst*-гена привела к превращению более 90% запасенных сахаров во фруктан.

Так как наличие фруктанов у растений коррелирует с холодо- и засухоустойчивостью, можно предполагать усиление этих признаков у полученных трансгенных растений сахарной свеклы.

Инвертаза расщепляет сахарозу до моносахаров. Трансгенные растения томата с геном кислой инвертазы в антисмысловой ориентации имели повышенное содержание сахарозы и пониженное — гексоз. При этом плоды, накапливающие сахарозу, были примерно на 30% мельче контрольных.

Глюкоза и фруктоза — одни из основных продуктов метаболизма растений, регулирующие многие биологические процессы. Первым этапом в их метаболизме является фосфорилирование гексокиназами и фруктокиназами. Изучение трансгенных растений томата с измененной активностью фосфорилирования гексоз показало, что фосфорилирующие энзимы влияют на регуляторную функцию сахаров.

Изучается возможность получения трансгенных растений, синтезирующих антигельминтные протеины, для терапии инфицированных гельминтами животных.

В последнее время трансгенные растения рассматриваются в качестве альтернативы микробиологическому синтезу. Они, имея низкую себестоимость, могут использоваться в производстве больших количеств антител и других белков и полипептидов. Выход антител в трансгенных растениях составляет от 1 до 5% общего содержания белка растений. Было подсчитано, что стоимость 1 кг протеина при 1%-ном содержании общего белка будет составлять приблизительно 100 долл. По подсчетам фирмы *Agracetis*, если средняя стоимость очищенных пептидов, полученных с помощью современных методов, составляет 100 000–1 млн долл. за кг, то их стоимость при получении из трансгенных растений составит 1000 долл. за кг.

Безусловно, в настоящее время трудно сказать, какие антигены, какие «съедобные вакцины» и на основе каких растений будут получены и ком-

мерциализованы в ближайшее время. Ясно только, что экономические выгоды от применения таких вакцин намного превысят расходы на их разработку и внедрение в промышленные условия.

Трансгенез все более широко используется для получения различных соединений, имеющих самое разнообразное практическое применение.

Описано изменение аромата, наблюдаемое у трансгенных растений. Известно, что несколько биотехнологических компаний работают над изменением окраски цветков трансгенных растений, в частности получением голубой розы. Первым примером изменения окраски цветков растений, очевидно, является эксперимент по введению гена, кодирующего дигидрофлавонолредуктазу в белоцветковое растение петунии, что привело к появлению кирпично-красной окраски.

Осуществлена генетическая трансформация торении (*Torenia hybrida*). Полученные трансгенные растения не содержали вовсе или имели сниженное количество антоцианов в лепестках цветков. Их окраска варьировала у разных трансгенных растений от синей до белой. Трансформация другого сорта торении, содержащего в цветках антоцианы и каротиноиды, этими же генетическими конструкциями привела к получению растений с бледно-желтой окраской.

В последнее время наряду с переносом в растения таких «экзотических генов» разрабатываются уже целые программы по отдельным видам сельскохозяйственных растений, направленные на изменение сразу целого комплекса полезных признаков. Так, для сахарной свеклы такая программа ставит целью изменения морфологии корня путем введения генов, изменяющих уровень эндогенных фитогормонов, и прямые манипуляции с *cdc*-генами (циклин-зависимые киназы) для получения высокоурожайной сахарной свеклы с высоким содержанием сахарозы, незагрязненным клеточным соком и слабой зависимостью от условий выращивания [Глазко, Чешко, 2007].

ГМО-растения — продуценты фармакологических препаратов

Среди генов, экспрессия которых в растениях считается экзотической, наиболее важными являются гены, кодирующие синтез полипептидов, имеющих медицинское значение. Очевидно, первым выполненным исследованием в этой области следует считать патент фирмы «Calgene» об экспрессии интерферона мыши в клетках растений. Позже был показан синтез иммуноглобулинов в листьях растений.

Трансгенные растения обладают рядом преимуществ по сравнению с культурой клеток микроорганизмов, животных и человека для производства рекомбинантных белков [Глазко, 2006]. Среди преимуществ трансгенных растений отметим основные: возможность широкомасштаб-

ного получения, дешевизна, легкость очистки, отсутствие примесей, имеющих аллергенное, иммунно-супрессивное, канцерогенное, тератогенное и прочие воздействия на человека. Растения могут синтезировать, гликозилировать и собирать из субъединиц белки млекопитающих. При поедании сырых овощей и фруктов, несущих гены, кодирующие синтез белков-вакцин, происходит оральная иммунизация [Глазко, Чешко, 2007].

Генные технологии в борьбе с загрязнением окружающей среды. Фиторемедиация

Одним из новых направлений использования трансгенных растений является их применение для фиторемедиации — очистки почв, грунтовых вод и т.п. от загрязнителей: тяжелых металлов, радионуклидов и других вредных соединений [Evans, Furlong, 2011; Глинушкин и др., 2016].

Устойчивые к ртути бактерии экспрессируют ген *mer A*, кодирующий белок переноса и детоксикации ртути. Модифицированную конструкцию гена *mer A* использовали для трансформации табака, рапса, тополя, арабидопсиса. В гидропонной культуре растения с этим геном извлекали из водной среды до 80% ионов ртути. При этом рост и метаболизм трансгенных растений не подавлялись. Устойчивость к ртути передавалась в семенных поколениях.

При интродукции трех модифицированных конструкций гена *mer A* в тюльпанное дерево (*Liriodendron tulipifera*) растения одной из полученных линий характеризовались быстрым темпом роста в присутствии опасных для контрольных растений концентраций ионов ртути (HgCl_2). Растения этой линии поглощали и превращали в менее токсичную элементарную форму ртути и испаряли до 10 раз больше ионной ртути, чем контрольные растения. Ученые полагают, что элементарная ртуть, испаряемая трансгенными деревьями этого вида, будет тут же рассеиваться в воздухе.

Тяжелые металлы — составная часть загрязнителей земель, используемых в сельскохозяйственном производстве. В случае с кадмием известно, что большинство растений накапливают его в корнях, тогда как некоторые растения, такие как салат-латук и табак, накапливают его в основном в листьях. Кадмий поступает в почву главным образом из промышленных выбросов и как примесь в фосфорных удобрениях.

Одним из подходов к снижению поступления кадмия в организм человека и животных может быть получение трансгенных растений, накапливающих меньшее количество этого металла в листьях. Данный подход представляет ценность для тех видов растений, листья которых используют в пищу или для корма животным.

Возможно также использовать металлотионеины — небольшие богатые цистеином белки, способные связывать тяжелые металлы. Показано, что металлотионеин млекопитающих является функциональным в растениях. Получены трансгенные растения, экспрессирующие гены металлотионеинов, и показано, что эти растения были более устойчивыми к кадмию, чем контрольные.

Трансгенные растения с *ИМТ11* — геном млекопитающих имели на 60–70% ниже концентрацию кадмия в стеблях по сравнению с контролем, и перенос кадмия из корней в стебли также был снижен — только 20% поглощенного кадмия было транспортировано в стебли.

Симбиотическому азотфиксатору люцерны *Rhizobium meliloti* был встроен ряд генов, осуществляющих разложение бензина, толуина и ксиленов, содержащихся в горючем. Глубокая корневая система люцерны позволяет очищать почву, загрязненную нефтепродуктами, на глубину до 2–2,5 м.

Таким образом, направления исследований генной инженерии очень разнообразны и обширны, а некоторые из них фантастичны и в то же время весьма перспективны по достижимости результатов.

Исследование реакции живых организмов на изменения окружающей среды чрезвычайно важно для оценки влияния этих изменений, особенно имеющих антропогенное происхождение, на биоразнообразии, сохранение которого является важнейшей задачей человеческой цивилизации [[Глазко, Чешко, 2007].

Использование ДНК-технологий для разработки вакцин

Перспективным направлением является создание трансгенных растений, несущих гены, кодирующие синтез вакцин [Глазко, 2002. 2006; Кочетов, 2007] против различных болезней. Так, при потреблении сырых плодов и овощей, несущих такие гены, происходит вакцинация организма. Это значительно расширяет области применения таких трансгенных растений. Например, при введении гена нетоксичной субъединицы энтеротоксина холеры в растения картофеля и скармливании сырых клубней подопытным мышам в их организме образовывались антитела холеры. Очевидно, что такие съедобные вакцины могут стать эффективным, простым и недорогим методом защиты людей и обеспечения безопасности питания в целом.

Развитие в последние десятилетия ДНК-технологий совершило революцию и в деле разработки и производства новых вакцин. При помощи методов молекулярной биологии и генетической инженерии были идентифицированы антигенные детерминанты многих инфекционных агентов,

клонированы гены, кодирующие соответствующие белки, и в ряде случаев налажено производство вакцин на основе белковых субъединиц этих антигенов. Диарея, вызываемая холерным вибрионом или энтеротоксигенной кишечной палочкой (*Escherichia coli*), является одной из опаснейших болезней с высоким процентом летального исхода, особенно для детей. Общее количество заболеваний холерой на земном шаре превышает 5 млн случаев ежегодно, в результате чего умирает около 200 тыс. человек. Поэтому Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) уделяет внимание профилактике заболевания диарейными инфекциями, всячески стимулируя создание разнообразных вакцин против этих заболеваний.

Вспышки заболевания холерой встречаются и в нашей стране, особенно в южных регионах.

Диарейные бактериальные заболевания также широко распространены и у сельскохозяйственных животных и птицы, в первую очередь у молодняка, что является причиной больших убытков в хозяйствах в результате потери веса и смертности поголовья [Павлов и др., 1995].

Классическим примером служит производство поверхностного антигена гепатита В. Вирусный ген *HBsAg* встроен в дрожжевую плазмиду, в результате чего в дрожжах в больших количествах стал синтезироваться вирусный белок, который после очистки используется для инъекций в качестве эффективной вакцины против гепатита [Petre et al., 1992].

Многие южные страны с высоким процентом заболеваний гепатитом проводят всеобщую вакцинацию населения, включая детей, против этой болезни. К сожалению, стоимость такой вакцины относительно высока, что препятствует широкому распространению программ всеобщей вакцинации населения в странах с невысоким уровнем жизни. В связи с таким положением в начале 1990-х гг. ВОЗ выступила с инициативой создания новых технологий для производства недорогих вакцин против инфекционных болезней, доступных для всех стран мира [Глазко, Чешко, 2007]. Фактически пару десятилетий назад была выдвинута концепция [Langridge et al., 2000] использования трансгенных растений для производства «съедобных» вакцин (*edible vaccines*). Действительно, если какой-либо съедобный орган растения будет синтезировать белок-антиген, обладающий сильными иммуногенными свойствами, то при употреблении этих растений в пищу параллельно будет усваиваться и белок-антиген с выработкой соответствующих антител.

Получены растения табака, несущие ген, кодирующий антиген оболочки вируса гепатита В под растительным промотором. Наличие антигена в листьях трансгенных растений подтверждено иммуноферментным анализом. Показано сходство физико-химического строения и иммунологических свойств образующегося рекомбинантного антигена и антигена в сыворотке человека.

Идентификация антител, продуцируемых в растениях благодаря введенным в геном растения их кодирующим генов, показала возможность сборки двух рекомбинантных генных продуктов в одну белковую молекулу, что невозможно в прокариотических клетках. Сборка антител происходила, когда обе цепи были синтезированы с сигнальной последовательностью. При этом наряду с возможностью введения двух генов в одно растение возможно также соединение индивидуальных полипептидных цепей, синтезируемых в разных трансгенных растениях, в полноценный белок при гибридизации этих двух растений. Возможно введение нескольких генов с использованием одной плазмиды.

Трансгенные растения-продуценты аутоантигенов могут использоваться также при аутоиммунных болезнях, таких как множественный склероз, ревматический артрит, инсулин-зависимый диабет и даже отторжения при трансплантации органов. Инсулин-зависимый диабет является аутоиммунным заболеванием, при котором продуцирующие инсулин клетки поджелудочной железы разрушаются собственными цитотоксичными Т-лимфоцитами. Оральное профилактическое потребление значительных количеств иммунногенных белков может привести к предохранению и значительной задержке появления симптомов аутоиммунных болезней. Однако оно возможно только при наличии значительного количества аутоантигенов. Белки инсулин и панкреатическая декарбоксилаза глютаминовой кислоты (*GAD65*) рассматриваются в качестве оральных вакцин для предотвращения инсулин-зависимого диабета. Канадские биотехнологи получили трансгенные растения картофеля, синтезирующие панкреатическую декарбоксилазу глютаминовой кислоты. При скормлении предрасположенным к диабету мышам отмечено снижение как встречаемости диабета, так и величины аутоиммунного ответа.

Приведенные выше результаты генно-инженерных разработок убедительно свидетельствуют о возможности создания «съедобных» вакцин на основе трансгенных растений. Учитывая тот факт, что разработка вакцин для человека потребует гораздо больше времени и более тщательной проверки на безвредность для здоровья, следует ожидать, что первые съедобные вакцины будут разработаны для животных. Исследования на животных помогут раскрыть механизмы действия «съедобных» вакцин, и только потом, после длительного изучения и всесторонней оценки, такие вакцины можно будет использовать в клинической практике.

Тем не менее работы в этом направлении активно продолжаются, а идея использования растений для производства вакцин уже запатентована в США, что свидетельствует о коммерческом интересе к этим разработкам.

Несмотря на столь обнадеживающие результаты, проблема создания коммерческих «съедобных» вакцин против диареи требует дальнейших

исследований. В патогенезе энтеротоксической формы бактериальных и холерных диарей первичным является обеспечение возможности бактериям размножаться в тонком отделе кишечника. Этот процесс зависит от способности *Eshirichia coli* к адгезии, что обусловлено наличием на поверхности бактериальных клеток специальных нитевидных образований белковой природы — фимбрий. На стенках тонкого кишечника больных диареей обнаруживается значительно больше бактерий, чем в просвете того же участка кишечника, что связано с наличием у *Eshirichia coli* фимбриальных адгезинов — белков, обеспечивающих связывание с рецепторами на поверхности кишечного эпителия.

Даже непатогенные штаммы *Eshirichia coli*, которые содержали плазмиду, кодирующую синтез адгезина, были способны колонизировать кишечник и вызывать диарею, не вырабатывая при этом энтеротоксинов. В связи с этим вполне вероятно, что иммунитета только против токсинов будет недостаточно для предотвращения патогенных эффектов, вызываемых холерным вибрионом или кишечной палочкой. Возможно, для преодоления этих эффектов в добавление к антигенам энтеротоксинов необходимо будет экспрессировать нейтрализующие эпитопы структурных антигенов, таких как липополисахариды, белки внешней мембраны бактерий или адгезинов, ассоциированных с фимбриями этих бактерий, ответственных за связывание со слизистой оболочкой кишечника. Недавно один из таких адгезинов (*FimH*) был успешно использован для иммунизации мышей против бактериальной диареи.

Еще одна важная проблема, связанная с разработкой «съедобных» вакцин, — уровень экспрессии гетерологичного антигена в растениях. Поскольку при пероральном введении вакцины требуются большие количества антигена, чем при парэнтеральном, количество синтезируемого в растениях антигена, которое сейчас в вышеприведенных случаях составляет не более 0,3% общего растворимого белка, должно быть увеличено. В то же время уровень экспрессии должен быть достаточно высоким для того, чтобы вызывать иммунный ответ, но быть меньше уровня, который вызывает толерантность к антигену, как это происходит с веществами, потребляемыми с обычной пищей. А так как иммунный ответ (иммуногенность против толерантности) может быть антиген-специфичным, то уровни экспрессии для каждого потенциального антигена надо будет подбирать индивидуально.

Как показывают эксперименты, уровень экспрессии гетерологичного антигена в растениях может быть увеличен путем использования тканеспецифичных промоторов и энхансеров, энхансеров транскрипции и трансляции, добавлением транспортирующих пептидов, а также путем изменения нуклеотидной последовательности соответствующих генов с использованием кодонов, предпочтительных для растений. Однако во-

прос о том, какие растения лучше использовать и в каком съедобном органе лучше экспрессировать антиген, требует дальнейших исследований, так как в различных растениях могут содержаться вещества, блокирующие или замедляющие иммунный ответ или просто токсичные для человека и животных, как, например, алкалоиды в клетках табака [Глазко, Чешко, 2007].

ГМО для улучшения сохранности и качества плодов и овощей

Известно, что фермент полигалактуроназа приводит к размягчению плодов после их созревания. Первые попытки ингибировать процесс размягчения были связаны с внесением гена полигалактуроназы в антисмысловой ориентации [Глазко, 2006, 2011]. Однако эта стратегия не привела к значительному изменению процесса размягчения плодов.

Альтернативой внесению генов, ингибирующих синтез галактуроназы, является перенос генов, ингибирующих синтез этилена, который ускоряет созревание плодов и ряда овощей. Доминантный *etr-1*-ген, внесенный в растения *Arabidopsis*, приводил к нечувствительности к этилену.

Получены трансгенные томаты, экспрессирующие антисмысловую мРНК к 1-аминоциклопропан-1-карбоксилатсинтазе — ключевому энзиму биосинтеза этилена. В некоторых трансгенных линиях отмечено сильное угнетение синтеза этилена. Сорванные плоды трансгенных растений никогда не созревали. Они становились со временем желто-оранжевыми, но никогда не краснели, не размягчались и не становились ароматными. При обработке трансгенных плодов этиленом они становились неотличимыми от нормально созревших плодов по плотности, окраске и аромату.

Разрабатываются также методы создания бессемянных плодов, выполненные под руководством Анжело Спена. В нормальных растениях после оплодотворения наблюдается рост уровня содержания фитогормона ауксина, который стимулирует рост семян и формирование плода вокруг них. Спена с сотрудниками создал трансгенные растения табака и баклажанов, способные продуцировать ауксин при неоплодотворенных семенах. Для этого создана конструкция, содержащая ген, изолированный из патогенной бактерии (*Pseudomonas syringae*), который кодировал участок *IaaM*, стимулирующий синтез ауксина в тканях растений, и промоторный участок *Be/И9*-гена, изолированного из львиного зева и экспрессирующегося только в семечках. Генетическая модификация растений табака и баклажанов привела к образованию бессемянных плодов [Rotino et al., 1997].

ДНК-технологии позволяют значительно расширить список таких продуктов и использовать растения как возобновляемый и дешевый проду-

цент новых веществ. Количество таких веществ, продуцируемых трансгенными растениями, растет с каждым годом и в настоящее время продолжает увеличиваться быстрыми темпами [Глазко, Чешко, 2007].

Биореакторы

Одним из перспективных направлений ДНК-технологий растений является создание растений-биореакторов, способных продуцировать белки, необходимые в медицине, фармакологии и др. [Глазко, 2006, 2008; Волова и др., 2009].

К достоинствам растений-биореакторов относятся отсутствие необходимости в кормлении и содержании, относительная простота создания и размножения, высокая продуктивность. Кроме того, чужеродные белки не вызывают иммунных реакций у растений, чего трудно добиться у животных.

Ряд лабораторий разрабатывает подходы, связанные с использованием растений в качестве средства для производства оральных вакцин, что имеет огромное экономическое значение, особенно для развивающихся стран, в связи со значительным удешевлением их получения и отсутствием необходимости очистки в случаях переноса этих генов во фрукты и употребляемые в сыром виде овощи.

Существует потребность в получении целого набора биологически активных белков, которые из-за очень низкого уровня синтеза в специфических тканях или продуктах недоступны для изучения по механизму действия, широкого использования или определения областей дополнительного применения. К таким белкам относится, например, лактоферрин, который находится в небольшом количестве в молоке млекопитающих, лейкоцитах крови.

Лактоферрин человека (*hLF*) перспективно использовать в качестве пищевой добавки и лечебного препарата для профилактики и лечения инфекционных заболеваний желудочно-кишечного тракта детей раннего возраста, повышения иммунного ответа организма при злокачественных и ряде вирусных (СПИД) заболеваний. Получение лактоферрина из молока крупного рогатого скота, вследствие его низкого содержания, приводит к высокой стоимости препарата. При введении кДНК-гена лактоферрина в клетки табака получен ряд каллусных тканей, синтезирующих укороченный лактоферрин, антибактериальные свойства которого были значительно сильнее антибактериальных свойств нативного лактоферрина. Концентрация этого укороченного лактоферрина в клетках табака составляла 0,6–2,5%.

В геном растений встраиваются гены, продукты которых индуцируют у человека и животных иммунный ответ, например, на оболочечные белки возбудителей различных заболеваний, в частности холеры [Arakawa T. et

al., 1998], гепатита, диареи [Zeitlin et al., 1999; Ma et al., 1999], а также на антигены плазматических мембран некоторых опухолей [McCormick et al., 1999]. Создаются трансгенные растения, несущие гены, продуцирующие некоторые гормоны, необходимые для гормонотерапии людей, и т.д.

Примером использования растений для создания вакцин являются работы, выполненные в Стенфордском университете, где были получены антитела к одной из форм рака с помощью модернизированного вируса табачной мозаики, в который был встроен гипервариабельный участок иммуноглобулина лимфомы. Растения, зараженные модернизированным вирусом, продуцировали антитела правильной конформации в достаточном для клинического применения количестве. 80% мышей, получавших антитела, пережили лимфому, в то время, как все мыши, не получавшие вакцины, погибли. Предложенный метод позволяет быстро получать специфичные для пациента антитела в достаточном для клинического применения количестве [McCormick et al., 1999].

Велики перспективы использования растений для производства антител. Кевин Уэйл с сотрудниками показал, что антитела, продуцируемые соей, эффективно защищали мышей от инфекции вирусом герпеса. В сравнении с антителами, продуцируемыми в культурах клеток млекопитающих, антитела, продуцируемые растениями, имели сходные физические свойства, оставались стабильными в человеческих клетках и не имели отличий в афинности связывать и нейтрализовать вирус [Zeitlin et al., 1998]. Клинические испытания показали, что использование антител, продуцируемых табаком, эффективно препятствовало перемещению мутантных стрептококков, вызывающих кариес [Ma et al., 1998].

Было проведено создание вакцины, продуцируемой картофелем, против инсулин-зависимого диабета. В клубнях картофеля накапливался химерный белок, состоящий из субъединицы В-токсина холеры и протоинсулина. Наличие субъединицы В облегчает потребление данного продукта клетками, что делает вакцину в 100 раз более эффективной. Скармливание клубней с микрограммовыми количествами инсулина мышам, больным диабетом, позволяло затормозить прогрессирование болезни [Arakawa et al., 1998] [Глазко, Чешко, 2007].

Основные направления коммерческого использования генетически модифицированных животных

ДНК-технология животных — это искусственная перестройка генома животных путем вмешательства в их развитие на самых ранних стадиях онтогенеза. Перестройка генома включает в себя реконструкцию эмбрионов путем клонирования, слияния или непосредственной инъекции в их ядра чужеродной ДНК [Глазко, 2002, 2006]. Однако получение эмбри-

ональных клонов, химер или трансгенных животных возможно лишь в результате успешной трансплантации реконструированного эмбриона [Глазко, Чешко, 2007].

Трансплантация эмбрионов

Трансплантация эмбрионов — метод ускоренного воспроизводства высокопродуктивных животных путем получения и переноса одного или нескольких эмбрионов от высокоценных животных (доноров) менее ценным животным (реципиентам). Использование трансплантации позволяет получать от одной генетически ценной самки в десятки раз больше потомства [Глазко, 2006; Косовский и др., 2014].

Технология трансплантации опирается на фундаментальные достижения в области биологии размножения животных и включает следующие приемы:

- 1) гормональное вызывание суперовуляции;
- 2) осеменение доноров семенем производителей, оцененных по качеству потомства;
- 3) извлечение и оценку качества эмбрионов, сохранение и пересадку или криоконсервирование эмбрионов в жидком азоте, оттаивание и пересадку.

Трансплантацию эмбрионов применяют для следующих целей:

- 1) размножение генетически ценных особей; с помощью этого метода может быть решен вопрос быстрого создания высокопродуктивных линий и семейств, резистентных к болезням;
- 2) получение идентичных животных путем разделения ранних эмбрионов. Это дает возможность изучить взаимодействие генотип — среда, выяснить влияние наследственности на хозяйственно полезные признаки. Технология разделения эмбрионов позволяет одну половину полученной бластоцисты подвергнуть глубокому охлаждению, а из другой вырастить животное. Если производитель (из одной половины бластоцисты) окажется генетически ценным, то имеется возможность воспроизвести его копию через определенный промежуток времени;
- 3) сохранение мутантных генов, малых популяций и генофонда пород;
- 4) получение потомков от бесплодных, но генетически ценных по генотипу животных;
- 5) выявление вредных рецессивных генов и хромосомных аномалий;
- 6) повышение устойчивости животных к болезням;
- 7) борьба с болезнями путем замены импорта и экспорта животных на импорт и экспорт криоконсервированных эмбрионов;
- 8) акклиматизация импортных животных иностранных пород;
- 9) определение пола эмбриона и получения животных определенного пола;

10) межвидовые пересадки;

11) получение химерных животных, которые развиваются из ранних эмбрионов, сконструированных из бластомеров разных животных [Глазко, Чешко, 2007].

Клонирование

Клон — точная копия организма. Термин «клон» происходит от греч. *klon* и характеризует вегетативное размножение. Размножение черенками, почками или клубнями традиционно используется в растениеводстве. При вегетативном размножении, или клонировании, гены не распределяются по потомкам, как в случае полового размножения, а сохраняются в полном составе в течение многих поколений. Клоны, полученные из соматических клеток какой-либо особи (в случае клонирования растений) или путем пересадки клеточных ядер в яйцеклетки (у животных), имеют идентичный с исходным организмом набор генов и фенотипически не различаются между собой.

Можно привести простейший пример клонирования: если срезать «усы» земляники и посадить их в землю, то вырастет абсолютно идентичное материнскому (тому самому, от которого усы и отрезали) растение. Для растений и простейших животных вроде гидры клонирование — вещь абсолютно банальная, не способная кого-либо удивить, а тем более взволновать. Совсем иное — клонирование животных [Глазко, 2003; Харченко, Глазко, 2006; Косовский и др., 2014]. Только гидры и другие беспозвоночные удастся воссоздать (регенерировать) из кусочка ткани их тела в природной среде, не создавая дополнительных особых условий. Клонирование позвоночных стало возможным благодаря появлению в эмбриологии метода пересадки ядер: из соматической клетки, например клетки кожи или кишки, выделяют ядро и пересаживают его в яйцеклетку. Собственное ядро яйцеклетки удаляют, и тогда она будет развиваться по той программе, которая записана в пересаженном ядре.

Но наука пока не создала инкубатор, способный заменить тело матери. В «пробирке» можно только зачать младенца. Для дальнейшего его развития совершенно необходим материнский организм. Однако зародыш использует его лишь как благоприятную среду для своего развития. Генетически же новый клон полностью идентичен организму донора — организму условных «матери» или «отца», у которых и был заимствован генный материал. Из какого-либо материнского организма берут яйцеклетку — это раз. Затем под микроскопом из нее удаляют ядро — это два, и на его место пересаживают ядро из клетки ткани (соматической клетки) клонируемого организма (донора) — это три. После того как донорское ядро начинает делиться, эту прооперированную комбинированную яйце-

клетку пересаживают (четвертая операция) в матку какого-нибудь животного требуемого вида, где в дальнейшем и развивается зародыш будущего двойника-клона. Как видим, вместо нормального природного процесса оплодотворения, когда сливаются хромосомы отца и матери, когда новый организм берет начало от двух клеток, мужской и женской, когда точно неизвестно, что из этого акта в результате получится, какая смесь генов, какой организм, при клонировании идет словно бы процесс генной «штамповки». Из отдельной клетки любого животного можно воссоздать его, животного, точную копию — одну, вторую, третью. Это повтор того, что уже было достигнуто природой прежде, генетическое копирование исходного образца. Есть и другой способ, когда ядро не пересаживают, а сливают с половой клеткой, лишенной ядра посредством электростимуляции, — именно так получили знаменитую овечку Долли. Так обстоит дело с животными. Если же теперь обратиться к клонированию человека, то этот процесс в основных своих чертах не будет отличаться от аналогичных опытов с мышами, овцами и коровами. Однако одно дело — генные эксперименты по клонированию с животными, совсем иное — с «венцом творения», человеком! Здесь сразу возникает огромное число нравственных, моральных, этических и иных проблем.

Эволюция создала огромное разнообразие видов животных и растений с уникальным видоспецифическим спектром адаптивных и полезных признаков, которые обеспечивают их существование. К сожалению, соединить уникальные признаки различных видов в одном организме невозможно по причине существования между видами репродуктивного барьера. Если этот барьер преодолеть, то потомство гибридов, как правило, фертильно. Работы последних десятилетий преодолели механизмы репродуктивной изоляции видов, которые сложились эволюционно. Прежде всего это работы по трансгенезу. Они показали, что внесение чужеродного генетического материала, который кодирует хозяйственно полезные признаки, в геном вида, которому такие признаки не присущи, возможно. Однако количество трансгенных животных крайне ограничено, поскольку существуют методические сложности их получения. Особенно привлекательной для быстрого получения необходимого количества трансгенных животных с уникальной генной конструкцией является технология их клонирования.

На протяжении тысячелетий разведения животных воображение человека не раз поражали редко возникающие, исключительные, выдающиеся по хозяйственной ценности животные — быстроходные лошади, коровы с высокими удоями, овцы с большим настригом шерсти, ценные мутанты в пушном звероводстве и т.д. Человеку не однажды приходила в голову мысль сделать таких удивительных животных «бессмертными» путем воспроизводства их в следующих поколениях в виде совершенно

идентичных копий. Однако рекордисты не оставляли после себя потомства, каждый член которого был бы полностью идентичен хотя бы одному из своих родителей, точно так же, как и его самого не повторял ни один из потомков последующих поколений.

Воспроизводство организмов, полностью повторяющих уникальную по продуктивности особь, возможно только в том случае, если генетическая информация матери будет без каких-либо изменений передана дочерям. Но при естественном половом размножении этому препятствует мейоз. В ходе его незрелая яйцеклетка, имеющая удвоенную ДНК диплоидного набора хромосом — носителей наследственной информации, делится дважды, и в результате возникают четыре гаплоидные клетки. Три из них дегенерируют, а четвертая — с большим запасом питательных веществ — становится собственно яйцеклеткой. У млекопитающих она в силу гаплоидности не может развиваться в новый организм. Для этого необходимо оплодотворение — слияние ее с гаплоидным сперматозоидом. Организм, развивающийся из оплодотворенной яйцеклетки, приобретает признаки, которые определяются взаимодействием материнской и отцовской наследственности. Следовательно, при половом размножении мать не может быть повторена в потомстве. Каким же образом заставить клетку развиваться только с материнским диплоидным набором хромосом? Единственное решение этой трудной биологической проблемы — клонирование.

В 1952 г. Р. Бриггс и Т. Кинг разработали метод пересадки ядер соматических клеток зародышей в энуклеированные яйцеклетки лягушек. Дж. Гердон в 1962 г. усовершенствовал технику пересадки. Он разрушал ядра яйцеклеток лягушки ультрафиолетовыми лучами, затем в каждое из яиц вводил ядро из дифференцированной клетки кишечного эпителия плавающего головастика. В ряде случаев такие ядра вызвали развитие генетически идентичных эмбрионов и взрослых лягушек. Впервые были получены истинные клоны позвоночных животных. Затем был использован метод культивирования *in vitro* клеток кожи взрослых лягушек. Пересадка ядер из таких клеток привела к получению генетических клонов головастиков, но вероятность успеха при трансплантации ядер из клеток кожи взрослых лягушек очень мала. При использовании ядер соматических клеток взрослых животных развитие клонов ограничивалось стадией головастиков. Ядра взрослых организмов и даже поздних эмбрионов по каким-то причинам утрачивают свои потенции. В последние годы установлено, что в ядрах эритроцитов взрослых амфибий имеются гены, контролирующие развитие эмбриона до стадии головастика; включение таких ядер в цитоплазму ооцитов ведет к реактивации репрессированных участков генома.

Поначалу большого прогресса в клонировании млекопитающих не было. К большому сожалению ученых. Ведь умение клонировать мле-

копитающих пришлось бы людям очень кстати. Так можно было бы тиражировать, получать множество точных копий, скажем, высокопродуктивных коров. Коров-рекордсменок. Или овец-мериносов с необыкновенно мягкой и обильной шерстью. Или скаковых лошадей-чемпионов. Почему трудно клонировать млекопитающих? Причин несколько. Специалисты сетуют, что-де яйцеклетки млекопитающих намного меньше по размеру, чем у лягушки, потому и экспериментировать с ними труднее. Учесть надо еще и то, что развитие лягушек происходит вне организма — на водной поверхности болот, прудов и озер, в то время как полученный в пробирке эмбрион млекопитающих (той же коровы) может нормально развиваться лишь в материнском организме. Но ученые полагали (и не ошиблись), что все эти препятствия временные, что рано или поздно образцовые породы млекопитающих можно будет распространять по всему свету.

В последнее время разработан метод пересадки ядер, сочетающий приемы микрохирургии и технику слияния клеточных фрагментов, проведены опыты по трансплантации ядер у овец и крупного рогатого скота.

Несмотря на сложность проведения работ по трансплантации ядер соматических клеток в энуклеированную зиготу, проблема эта является актуальной, так как открывает возможности копирования выдающихся по продуктивности животных и создания стад с высоким генетическим потенциалом.

Клоны можно также получить путем деления эмбрионов на ранней стадии развития. Установлено, что, если количество клеток эмбриона (бластомеров) не превышает 16, они еще не дифференцированы. Это позволяет разъединять эмбрионы (бластулы) на два и большее число и получать однояйцовых близнецов. К настоящему времени получены монозиготные близнецы телят, жеребят, ягнят и поросят. В перспективе предполагается, что обеспечение оптимальных условий для культивирования ранних эмбрионов *in vitro* создаст возможность выращивать половинки эмбрионов с последующим неоднократным их разделением, что позволит в значительной степени увеличить число годных для трансплантации зародышей, происходящих от одного эмбриона, и получить более многочисленные клоны эмбрионов у сельскохозяйственных животных, что будет способствовать более успешной их селекции.

Научное направление клонирования имеет два различных аспекта, оба они представлены в настоящем разделе. Один — клонирование эмбриональных клеток, второй — появление живых существ из соматических клеток взрослого организма. Получение клонов позвоночных путем деления ранних эмбрионов на отдельные клетки-бластомеры (по сути, получение однояйцовых близнецов) и выращивание из них взрослых организмов — это научные достижения начала 70-х гг. XX в.

Клонирование с использованием трансплантации ядер эмбриональных клеток в яйцеклетки стало возможным в конце 80-х — начале 90-х гг.

Пересадка ядер из соматических клеток в энуклеированную яйцеклетку сельскохозяйственных животных может осуществляться с помощью микроманипуляций или путем слияния клеток. Последний метод основан на принципе гибридизации клеток в культуре, когда при совместном культивировании клеток они сливаются, образуя гибриды, содержащие геномы исходных клеток. Для интенсификации слияния клеток используют полиэтиленгликоль или инактивированный вирус Сендай, который при слиянии клеток повреждает их в наименьшей степени. В настоящее время проведены результативные эксперименты по слиянию яйцеклеток с яйцеклетками, яйцеклеток с соматическими клетками. Учитывая, что эти два главных метода пересадки ядер имеют свои достоинства и недостатки, их используют в комбинации. В этом случае разрез оболочки яйцеклетки и трансплантацию ядер производят микрохирургией, а слияние безъядерных фрагментов с ядром донора — с помощью инактивированного вируса Сендай.

Для выведения улучшенных пород домашних животных и птиц (коров с более высокой удойностью, овец с качественной шерстью, кур с более высокой яйценоскостью и т.д.) проводят множество раундов скрещиваний и отбора, каждый раз используя в качестве производителей животных с наилучшими характеристиками. В результате со временем можно получать более или менее чистые линии высокопродуктивных пород животных. Стратегия скрещивания и отбора, требующая больших временных и материальных затрат, оказалась, тем не менее, исключительно успешной, и сегодня почти все аспекты биологических основ выведения новых пород домашнего скота могут быть к ней сведены. Однако, после того как эффективная генетическая линия получена, вводить новые признаки методом скрещивания и отбора становится все труднее. Так, линия с новым «ценным» геном может нести также и «вредные» гены, вследствие чего потомки могут оказаться менее продуктивными. Чтобы быть уверенными в том, что новая, улучшенная линия сохранит исходные полезные признаки и приобретет новые, необходимо разработать абсолютно новую стратегию.

Успешные эксперименты по введению чужеродных генов в клетки млекопитающих и возможность создания генетически идентичных животных путем переноса ядра из эмбриональной клетки в яйцеклетку с удаленным ядром (перенос ядра, клонирование) позволили включить в хромосомную ДНК высших животных отдельные функциональные гены или целые их кластеры. Используемая стратегия состоит в следующем: клонированный ген вводят в ядро оплодотворенной яйцеклетки; инокулированные оплодотворенные яйцеклетки имплантируют в реципиентную женскую особь

(поскольку успешное завершение развития эмбриона млекопитающих в иных условиях невозможно); отбирают потомков, развившихся из имплантированных яйцеклеток, которые содержат клонированный ген во всех клетках; скрещивают животных, которые несут клонированный ген в клетках зародышевой линии, и получают новую генетическую линию.

Такой подход имеет много практических приложений. Например, если продукт вводимого гена стимулирует рост, то трансфицированные животные будут расти быстрее при меньшем количестве пищи. Повышение эффективности усвоения пищи всего на несколько процентов может существенно снизить стоимость конечного продукта (говядины, свинины и т.д.).

Идея генетического изменения животных путем введения генов в оплодотворенные яйцеклетки была реализована на практике в 80-е гг. XX в. Как и во многих других новых областях науки, для упрощения обмена информацией между учеными был введен ряд новых терминов. Так, животное, чей генотип был изменен путем введения чужеродной (экзогенной) ДНК, было названо трансгенным, вводимая ДНК — трансгеном, а весь процесс — трансгенной технологией, или трансгенозом.

Эксперименты по генетической модификации многоклеточных организмов путем введения в них трансгенов требуют много времени. Тем не менее трансгеноз стал мощным инструментом для исследования молекулярных основ экспрессии генов млекопитающих и их развития, для создания модельных систем, позволяющих изучать болезни человека, а также для генетической модификации клеток молочных желез животных с целью получения с молоком важных для медицины белков. Был даже предложен новый термин «фарминг», относящийся к процессу получения из молока трансгенных домашних («pharm») животных аутентических белков человека или фармацевтических препаратов. Использование молока целесообразно потому, что оно образуется в организме животного в большом количестве и его можно выдаивать по мере надобности без вреда для животного. Вырабатываемый молочной железой и секретлируемый в молоко новый белок не должен при этом оказывать никаких побочных эффектов на нормальные физиологические процессы, протекающие в организме трансгенного животного, и подвергаться посттрансляционным изменениям, которые, по крайней мере, близки к таковым в клетках человека. Кроме того, его выделение из молока, которое содержит и другие белки, не должно составлять большого труда.

После шумного успеха овцы Долли продолжились работы по клонированию других видов.

Клонирование коз производилось по протоколу, подобному тому, который использовался при клонировании овец. Для пересадки в энуклеированные ооциты использовались ядра фетальных соматических клеточ-

ных линий. Из выношенных суррогатной матерью реконструированных эмбрионов удалось получить три живых козленка. Всего было реконструировано 230 эмбрионов, т.е. уровень успешности составил 1,3%, что сравнимо с этим показателем у овец, коров и мышей. Интересный аспект данной работы заключался в том, что для создания фетальных клеточных линий использовались клетки генетически модифицированного животного, имевшего трансген, обеспечивающий синтез человеческого антитромбина 3. Все три полученных клона, естественно, были женского пола. У одной из них была гормонально вызвана лактация. Оказалось, что она выделяет 3,7–5,8 г антитромбина 3 на литр молока. Это сравнимо с продуктивностью трансгенных коз, полученных другим путем.

Замедление процесса естественного старения клеток человеческого организма, впервые осуществленное в лабораторных условиях с применением энзима под названием теломераза, стало прорывом в исследовании механизма воздействия времени на биологические ткани.

Открыто около 30 рецессивных и 100 доминантных онкогенов, которые определяют развитие тех или иных опухолей. Обнаружены аномалии хромосом, которые приводят к развитию рака. Следует ожидать важных открытий, связанных с защитными механизмами, с пониманием различных психических заболеваний. В перспективе можно ожидать, что эти исследования окажут существенное влияние на продолжительность и качество жизни человека [Глазко, Чешко, 2007].

Существенным продвижением вперед было клонирование мышей группой ученых из Гонолулу, о котором было сообщено в декабре 2000 г. Это сообщение так и осталось незамеченным широкой публикой. На этот раз животные были клонированы не из соматических, т.е. уже взрослых, развившихся в определенный вид ткани клеток, а из стволовых. Стволовые — это клетки эмбриона, никаких пока мутаций с ними еще не произошло, поэтому клон из них получается стопроцентный. Главное же здесь то, что культуры стволовых клеток в течение многих лет выращиваются в нескольких лабораториях мира и сегодня представляют собой стандартный объект для многих исследований. Именно ими воспользовались ученые из Гонолулу. Использование стволовых клеток позволяет другому исследователю поставить проверочный эксперимент и получить тот же результат. То есть обеспечивает повторяемость результатов, а именно это делает их действительно научными.

Почему так привлекательно исследовать именно эмбрионы? Потому что мы получаем возможность ответить на массу фундаментальных вопросов: каков механизм создания разных тканей, как формируются органы? Возможно, даже подойдем к решению вопросов, связанных с неправильным делением клеток, т.е. найдем подход к лечению онкологических болезней.

При этом очень важно уяснить, что имеется несколько разновидностей лечения клеточными суспензиями. В ряде случаев они применяются без задачи обеспечить выживание и размножение введенных клеток, например для стимуляции заживления операционной раны с применением животного материала. В этих случаях речь не идет о трансплантации, положительные эффекты достигаются за счет эффекта стимуляции вводимыми биологически активными веществами.

Еще один способ — введение рекомбинантных генов в клетки зародышевой линии животных, при котором используют *плюрипотентные* (дифференцирующиеся по разным направлениям) эмбриональные стволовые клеточные линии (ЭСК), предшественники которых были взяты из бластоцисты зародышей мышей. В такие клетки вводят рекомбинантные гены вместе с селектируемыми маркерами, которые позволяют проводить отбор клеток, экспрессирующих данные маркеры и, следовательно, гарантированно содержащих сцепленные с ними изучаемые гены. Отобранные таким образом клетки переносят в бластоцисты развивающихся эмбрионов или используют для получения агрегационных химер путем их объединения с клетками восьмиклеточных эмбрионов с последующей подсадкой эмбрионов псевдобеременным самкам.

Еще одним способом получения трансгенных млекопитающих является использование трансформированных генными конструкциями клеточных линий. Преимуществом получения трансгенных животных с помощью трансформированных стволовых клеток является возможность тестирования интеграции трансгена в культуре клеток.

В биологии химерными организмами (химерами), или аллофенными организмами, называются те, которые построены из клеток, полученных из двух или более организмов, имеющих генетические различия. Этот термин чаще всего используют для особей, полученных путем объединения в одном предимплантационном эмбрионе эмбрионов разного происхождения. Химерной особью считается также пациент, которому пересажен костный мозг.

Понятие «химера» означает «составное животное». Сущность метода получения химер заключается в искусственном объединении эмбриональных клеток двух и более животных. Животные могут быть как одной, так и разных пород и даже разных видов. Современная микрохирургия позволяет получать химеры, имеющие 3–4 и более родителей. Химеры обладают признаками разных генотипов.

Получение химер представляет большой интерес для практики животноводства. Таким путем можно получить животных с более высокой резистентностью к ряду болезней и с признаками, которые обычно плохо сочетаются в одном организме [Глазко, Чешко, 2007].

Трансгенные животные

Животных, в геном которых интегрируют чужеродные гены, называют трансгенными [Глазко 2003, 2007; Зиновьева и др., 2014]. В ряде экспериментов было установлено, что мыши, развивающиеся из зиготы, в которую была введена чужеродная ДНК, содержат в своем геноме фрагменты этой ДНК, а иногда у них происходит и экспрессия чужеродных генов. В 1980 г. Дж. Гордон с сотрудниками впервые показали возможность трансформации мыши путем введения в пронуклеус оплодотворенной яйцеклетки мыши рекомбинантных молекул, содержащих ген тимидинкиназы (ген *ТК*) вируса герпеса. Лучшие результаты были получены при микроинъекции рекомбинантной ДНК в мужской, более крупный, пронуклеус. Метод микроинъекции чужеродной ДНК в мужской пронуклеус зиготы используется в настоящее время у всех млекопитающих, включая сельскохозяйственных животных. Созданы линии трансгенных мышей, которые различались между собой структурой чужеродной ДНК. Мышам были введены гены: гемоглобина кролика, человека, лейкоцитарного интерферона человека, гормона роста крысы и человека. Особого внимания заслуживает опыт Пальмитера и сотрудников, в котором осуществлена пересадка мышам гена гормона роста крысы. В этом случае промотор бактерий был непригоден. Для микроинъекции была создана рекомбинантная ДНК, состоящая из соединенных фрагментов различных генов: промоторной части гена — металлотионеина МТ-1 мыши и структурной части — гена гормона роста крысы, в котором собственные промотор и инициатор были удалены. В зиготы мыши инъецировали по 600 копий рекомбинантной ДНК. Получен 21 потомок. У семи мышей был обнаружен чужеродный ген — ген гормона роста крысы. Живая масса трансгенных мышат была почти в два раза больше, чем у контрольных. Таких трансгенных животных называли супермышами. В среднем у трансгенных мышей интегрируется 25–30% копий введенной ДНК.

Успешные опыты с мышами способствовали проведению работ по получению трансгенных кроликов и сельскохозяйственных животных. Схема получения трансгенных животных в основном такая же, как при работе с мышами. Она состоит из следующих этапов:

- 1) выбор, получение и клонирование чужеродного гена;
- 2) получение зигот и выявление пронуклеусов;
- 3) микроинъекция определенного числа копий генов в видимый пронуклеус;
- 4) трансплантация зиготы в половые пути гормонально подготовленной самки;
- 5) оценка родившихся животных по генотипу: интеграция чужеродной ДНК, экспрессия ДНК, влияние на признак (например, высокая интенсивность роста), установление наследования гена.

Трансгенные кролики были получены Р. Хаммером и Г. Бремом с соотр. Они производили микроинъекцию в пронуклеусы кроликов гена гормона роста человека. Получены трансгенные свиньи на основе инъекции в зиготы гена гормона роста крупного рогатого скота.

В порядке совершенствования процесса трансгеноза разрабатывается метод оплодотворения яйцеклеток *in vitro* с помощью микроинъекции одного сперматозоида с включенной в него чужеродной ДНК. В перспективе предполагается получение трансгенных животных для производства новых продуктов, которые можно будет производить в промышленном масштабе, если они будут полезны с медицинской точки зрения. С этой целью будет использоваться рекомбинантная ДНК, с помощью которой от трансгенных животных будут получать, например из коровьего молока, крови или печени, такие белки, как инсулин человека, интерферон и гормоны. Разрабатывается биотехнология производства фактора свертывания крови из молока трансгенных овец. Фактор свертываемости, необходимый для лечения гемофилии, будет синтезироваться в клетках молочной железы овец и переходить в молоко.

Внедрение современных биотехнологий — гибридизации соматических клеток, клеточной и генной инженерии в сочетании с эмбриогенетической инженерией — определяет новые подходы в деле создания более устойчивых к болезням высокопродуктивных пород животных с признаками, которых не было у исходных пород или они были слабо выражены. Открываются новые перспективы для получения лекарственных веществ: гормонов, вакцин, аминокислот, витаминов и т.д. Синтез генов и совершенствование методов их введения позволяют ввести в клетку на место поврежденных генов нормальные гомологи, что обеспечит лечение наследственных болезней. Широкое распространение получают способы нейтрализации действия вредных генов с помощью введения репрессоров.

Трансгенные лабораторные животные (мыши) могут быть модельными системами для изучения болезней человека и тест-системами для исследования возможности регулирования синтеза ряда продуктов, представляющих интерес для медицины, например синтеза амилоидов при болезни Альцгеймера. Пока о патогенезе болезни Альцгеймера мало что известно, но есть надежда, что животные модели помогут ответить на некоторые важные вопросы о ее молекулярных основах и подходах к ее предупреждению. В США эта болезнь обнаружена у около 4 млн человек, и наносимый ею ущерб составляет порядка 100 млрд долл.

Используя животных, можно моделировать и возникновение патологий, и их развитие. Однако мышь — не человек, хотя она тоже относится к классу млекопитающих, поэтому данные, полученные на трансгенных моделях, не всегда можно экстраполировать на человека в том, что касается медицинских аспектов. Тем не менее в некоторых случаях они позво-

ляют выявить ключевые моменты этиологии сложной болезни. Принимая во внимание все это, ученые разработали «мышинные» модели таких генетических болезней человека, как болезнь Альцгеймера, артрит, мышечная дистрофия, образование опухолей разного гистогенеза, гипертония, нейродегенеративные нарушения, дисфункция эндокринной системы, сердечно-сосудистые заболевания и многие другие.

Если предполагается использовать молочную железу в качестве «био-реактора», то наиболее предпочтительным животным для трансгеноза является крупный рогатый скот, который ежегодно дает до 10 тыс. л молока, содержащего примерно 35 г белка на 1 л. Если в молоке будет содержаться такое количество рекомбинантного белка и эффективность его очистки составит 50%, то от 20 трансгенных коров можно будет получать примерно 100 кг такого белка в год. Именно столько белка С, используемого для предотвращения тромбообразования, требуется ежегодно. С другой стороны, одной трансгенной коровы будет более чем достаточно для получения требуемого ежегодно количества фактора IX (фактора Кристмаса) каскадного механизма свертывания крови, который вводят больным гемофилией для повышения свертываемости крови.

Одна из целей трансгеноза крупного рогатого скота — изменение содержания в молоке различных компонентов. Так, количество сыра, получаемого из молока, прямо пропорционально содержанию в нем каппа-казеина, поэтому весьма перспективным представляется увеличение количества синтезируемого каппа-казеина с помощью гиперэкспрессии этого белка путем введения регуляторных последовательностей для адресного повышения транскрипции соответствующего гена. Далее если обеспечить экспрессию гена лактазы в клетках молочной железы, то можно будет получать молоко, не содержащее лактозы. Такое молоко незаменимо для многих людей, не переносящих лактозу: после приема молока или молочных продуктов у них возникает серьезное желудочное расстройство. Трансгенез крупного рогатого скота — это весьма перспективный подход, но создание большого числа трансгенных животных потребует времени, ведь для того, чтобы вырастить половозрелое животное из оплодотворенной яйцеклетки, нужно примерно два года.

Весьма актуально создание домашних животных с наследственной устойчивостью к бактериальным и вирусным инфекциям и паразитарным инвазиям. Известно о существовании пород с наследственной устойчивостью к бактериальным инфекционным заболеваниям — маститу (коровы), дизентерии (новорожденные поросята), холере (домашняя птица). Если в основе устойчивости к каждой из этих болезней лежит один ген, можно попытаться создать несущих его трансгенных животных. В настоящее время для борьбы с инфекционными заболеваниями домашних животных используют прививки и лекарственные препараты. Заболевших

животных изолируют, за здоровыми ведут тщательное наблюдение. Стоимость всех этих мероприятий может достигать 20% общей стоимости конечной продукции.

Для выведения линий животных, устойчивых к возбудителям инфекции, можно использовать другой подход, заключающийся в создании путем трансгеноза наследуемых иммунологических механизмов. С этой точки зрения рассматривают самые разные гены, ответственные за работу иммунной системы: гены основного комплекса гистосовместимости, Т-клеточных рецепторов, лимфокинов. Наиболее обнадеживающими на настоящее время являются предварительные результаты, полученные при введении мышам, кроликам и свиньям генов, кодирующих тяжелые и легкие (*H* и *L*) цепи какого-либо моноклонального антитела. Идея этого подхода заключается в том, чтобы снабдить трансгенное животное наследуемым механизмом защиты, позволяющим обойтись без иммунизации с помощью прививок.

Опыты по трансгенезу (в случае овец и коз) в основном были направлены на превращение молочных желез этих животных в своеобразные биореакторы для получения белковых продуктов, используемых в медицине. Несмотря на то что надои у овец и коз меньше, чем у коров, за год они дают сотни литров молока. Были созданы трансгенные овца и коза, в молоко которых секретировались белки человека. Они обладали активностью, близкой к таковой соответствующих белков, получаемых от человека. Функционирование трансгенов в клетках молочных желез овец и коз не оказывало никаких побочных действий ни на самок в период лактации, ни на вскармливаемое потомство. В отличие от этого при введении свиньям трансгена бычьего гормона роста, приводящего к повышению уровня соматотропного гормона в крови животных, неблагоприятные эффекты наблюдались. Количество гормона у разных особей в группе трансгенных свиней различалось, однако в целом вся эта группа быстрее прибавляла в весе. К сожалению, этот положительный результат частично обесценивался различными патологиями: у животных отмечались язва желудка, почечная недостаточность, хромота, воспаление перикарда, уменьшение подвижности суставов, предрасположенность к пневмонии. Причины этих симптомов неизвестны. Возможно, они связаны с долговременным присутствием в организме избытка гормона роста, часто приводящего к бесплодию животных.

В последнее время большое внимание уделяется вопросу использования органов животных для трансплантации человеку. Основная проблема межвидовой трансплантации — гиперострое отторжение, влекущее за собой связывание антител организма хозяина с углеводной антигенной детерминантой на поверхности клеток пересаженного органа. Связавшиеся антитела вызывают острую воспалительную реакцию (активацию каскада

комплемента), происходит массовая гибель несущих антитела клеток и быстрая потеря пересаженного органа.

В естественных условиях воспалительная реакция блокируется особыми белками на поверхности клеток, выстилающих стенки кровеносных сосудов. Эти белки у каждого биологического вида свои. Было высказано предположение, что если бы животное-донор несло один или несколько генов человеческого белка, ингибирующего комплемент, то пересаженный орган был бы защищен от первичной воспалительной реакции. С этой целью были получены трансгенные свиньи, несущие различные человеческие гены ингибитора комплемента. Клетки одного из этих животных оказались совершенно нечувствительными к компонентам системы каскада комплемента. Предварительные эксперименты по пересадке органов трансгенных свиней приматам показали, что ткани пересаженного органа повреждаются слабее, а сам орган не отторгается немного дольше. Возможно, трансгенные свиньи, несущие человеческий ген ингибитора комплемента и лишённые основного поверхностного белка клеток, который вызывает острейшее отторжение, будут служить источником органов для трансплантации человеку.

Трансгенных цыплят можно использовать для улучшения генотипа уже существующих пород — для придания им (*in vivo*) устойчивости к вирусным инфекциям и заболеваниям, вызываемым кокцидиями, повышения эффективности усвоения пищи, снижения уровня жира и холестерина в яйцах, повышения качества мяса. Было предложено также использовать яйцо с его высоким содержанием белка в качестве источника белковых продуктов, используемых в фармацевтической промышленности. Экспрессия трансгена в клетках репродуктивного пути курицы, где обычно секретируется большое количество овальбумина, может способствовать накоплению соответствующего белкового продукта в яйце, откуда его можно затем выделить.

По мере истощения природных рыбных запасов все большую роль будет приобретать разведение рыбы в искусственных условиях. Основная цель исследований в этой области — создание рекомбинантных рыб путем трансгеноза [<http://www.studfiles.ru/preview/1150606/page:2/>], [Глазко, Чешко, 2007].

ГЕНЕТИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ОРГАНИЗМЫ КАК ИСТОЧНИК РИСКА. ТРЕВОГИ ОБОСНОВАННЫЕ И МНИМЫЕ

Мир, в котором мы живем в начале XXI в., называют по-разному: «информационное общество», «постиндустриальный мир», «технотронная цивилизация», «постчеловеческая эра» и т.д. А недавно в среде философов и социологов возникло еще одно определение — «общество риска».

Да, человечество все чаще идет на риск — вынужденный, заменяя тепловые электростанции атомными, органические удобрения — химическими, лук и чеснок — антибиотиками и т.д. Эксперты по теории цивилизации утверждают [Бек, 2000], что риск есть атрибут техногенной цивилизации как таковой. Мы же пришли к выводу, что *непрерывно возрастающий риск есть неизбежный побочный результат так называемой стабильной эволюционной стратегии Homo sapiens, т.е. способа бытия человека в этой реальности.* Подробнее об этом будет сказано во второй части нашего исследования; там же будут приведены основные ссылки на источники. В этой главе мы рассмотрим преимущественно вопрос биобезопасности экологической ниши нашего биологического вида, которая давно уже превратилась из объективно существующего факта в артефакт, продукт культуры и технологии, творение человеческого разума и эмоций.

По мере исчерпания старых возможностей, всего того, что уже не работает в данном пространстве и в данном времени с n числом условных измерений, человек поневоле должен сделать еще один шаг вперед — перейти в пространство $(n + 1)$ -го числа опять же условных измерений. Человеческая размерность (человеческий фактор) — необходимый элемент жизни человечества, размерность мира непрерывно возрастает, растет и количество новых опасных рисков. Кончаются нефть, газ, требуется создание принципиально новых видов топлива и т.д.

Биотехнология — это тоже необходимая группа риска. Генетически модифицированный организм может размножаться, обмениваясь генетическим материалом, вызывая неожиданные эффекты. Вот конкретный пример — соя. Биотехнологи сделали ее устойчивой к гербициду «глифосфату». Теперь фермеры могут применять этот гербицид без ущерба для урожая бобов. Результат? Урожай спасен, но все растения вокруг, включая и дикую флору, *могут* быть уничтожены. Почва и вода отравлены.

Это лишь один пример. А ведь 57% исследований в биотехнологии как раз и направлены на создание устойчивых к гербицидам растений [Глазко, 2002, 2006; Решетников и др., 2014]. Результатом этого стало трехкратное увеличение количества применяемых гербицидов.

О гербицидах стоило бы завести отдельный большой разговор. XXI в. — век глобализации. Во всем. Считается, что «глобальному» человеку требуется и «глобализированная» пища. И ее уже производят из генетически модифицированных растений (ГМ), но они уже одним своим существованием способствуют уменьшению на Земле пестицидов. Пестициды в корне изменили вековые устои земледелия, благодаря им накормлены миллиарды голодных. Последние 50 лет можно считать эпохой глобальной ядохимизации. Полвека мир расколот надвое. Одни считают пестициды величайшим злом, способным в конце концов убить природу и человека, другие, наоборот, — чудодейственным лекарством для растений. Создалась странная ситуация. Сотни миллионов людей во всем мире, садящихся за руль авто, обязаны хотя бы «на удовлетворительно» знать его теорию и устройство автомобиля, не говоря уже о правилах безопасности. В то же время большинство людей, которые применяют пестициды в полях, садах и огородах, в лучшем случае что-то там слышали про норму расхода препарата на гектар. Хотя неизвестно, что опаснее — автомобиль или пестициды. Ведь любое лекарство становится ядом, когда его доза превышает медицинскую норму в несколько раз. Поэтому широкое внедрение в практику земледелия ядохимизации может в скором времени обернуться для землян катастрофой.

Сигналы тревоги поступают отовсюду, однако посулы биотехнологии столь велики, что отказаться от их соблазна очень трудно. В США создали и ускоренно внедряют генетически модифицированные сорта зерновых, устойчивые к болезням и засухе, к тому же вдвое более урожайные. Семенной фонд США почти на 40% состоял из такого «суперзерна» (генетически измененной кукурузы). Но возникли проблемы.

В 1996–2003 гг. в средствах массовой информации появился ряд тревожных публикаций о трансгенных организмах. Пищевая и экологическая безопасность каждого нового генно-модифицированного растения и продуктов на его основе привлекает внимание общественности в связи с широким освещением данной проблемы телевидением и прессой, а также в результате акций таких общественных организаций, как Гринпис (*Green Peace*), «Друзья Земли» (*Friends of the Earth*) и др. В 1996 г. была принята Резолюция о защите диетических прав американских евреев, в которой подчеркивается, что «искусственная передача генетического материала между видами, в природе не скрещиваемыми, является серьезным нарушением божьего закона... Поскольку большинство видов насекомых и животных — некошерны, то таким же будет большинство продоволь-

ственных товаров из трансгенных растений». Это положение является в основном причиной формирования отрицательного мнения у религиозной еврейской общественности. Вместе с тем у различных религиозных конфессий отсутствует единое мнение на этот счет.

Следует отметить, что реакция на продукты из генетически модифицированных источников пищи является различной в США и Европе. Потребители в США выражают в основном позитивное отношение к генной инженерии. В ходе национального социологического опроса, проведенного Международным советом по информации в области продовольствия в 1999 г. [Глазко, 2006], показано, что около 75% американцев рассматривают применение биотехнологии как большой успех общества, особенно в последние 5 лет, а 44% европейцев — как серьезный риск для здоровья. При этом 62% американцев готовы купить генетически модифицированный продукт, обладающий большей свежестью или улучшенным вкусом; на этот же шаг готовы только 22% европейцев. Противники технологии рекомбинантной ДНК, составившие 30% в Европе и 13% в США, считают, что данная технология является не только рискованной, но морально неприемлемой [The Role of Biotechnology, 2012; Einsele, 2007; Глазко, 2002].

Риск — вероятность осуществления нежелательного воздействия генно-инженерно-модифицированного организма на окружающую среду, сохранение и устойчивое использование биологического разнообразия, включая здоровье человека, вследствие передачи генов.

Знание потенциальных рисков применения генетически модифицированных источников пищи обуславливает возможность их исключения либо снижения отрицательного воздействия.

Кроме того, все понимают, что следующим шагом для прикладной генетики могут стать эксперименты на человеческих генах. И «генетические» бомбы могут оказаться страшнее атомных.

Первый кризис, связанный с генетически модифицированными организмами, начался летом 1971 г. [Чешко, Кулиниченко, 2004]. В то время молодой ученый Роберт Поллак в лаборатории Колд-Спринг-Харбор (на Лонг-Айленде, штат Нью-Йорк, США), руководимой Джеймсом Уотсоном, занимался проблемой рака. Круг научных интересов Поллака был широк. И вот он узнает, что в другой лаборатории (в Пало-Альто, Калифорния), у Поля Берга, планируются эксперименты по встраиванию молекул ДНК онкогенного (вызывающего раковые заболевания) вируса SV40 в геном кишечной палочки. Последствия таких опытов? А не возникнет ли эпидемия рака (было известно, что почти безвредный для обезьян вирус SV40 вызывает рак у мышей и хомяков)? Начиненные опасными генами бактерии, плодясь миллиардами за сутки, могли бы, по мнению Поллака, представлять серьезную опасность. Он тут же позвонил Бергу по между-

городному телефону и спросил его, отдает ли он себе отчет в опасности экспериментов. Не станут ли бактерии с генами вируса SV40 биологической бомбой замедленного действия?

Этот телефонный разговор и был началом той тревоги, которая вскоре охватила молекулярных биологов. Берг отложил свои исследования. Он стал размышлять, может ли реально *Escherichia coli* (кишечная палочка) со встроенным в нее вирусом SV40 вызвать столько неприятностей? Мучительные раздумья мало что прояснили. Четкого ответа не было из-за скудости сведений, имеющих у специалистов в то время.

Позже Берг все же решил, что «риск здесь не равен нулю», сам позвонил Поллаку и попросил его помочь организовать конференцию ученых, которая могла бы оценить степень опасности генно-инженерных работ. Эта конференция состоялась в 1973 г. А немного позднее стало известно, что пересадка генов из проекта превратилась в реальность, что американцы Стэнли Коэн и Энни Чанг из Станфордского университета получили плазмиду-химеру, состоящую из двух бактериальных плазмид (плазмиды SC101 из кишечной палочки с плазмидой 1258 из золотистого стафилококка) и ввели-таки ее в кишечную палочку. И такая химерическая *Escherichia coli* стала размножаться. Эпоха генной инженерии началась.

Вот тут-то ученые (Берг, Поллак и другие первопроходцы в области молекулярной биологии) и забеспокоились. Они обратились в Национальную академию США с просьбой детально рассмотреть вопрос о рекомбинантных ДНК. Более того, исследователи решили предать дело гласности. Адресованное в академию письмо было послано в солидный и очень популярный еженедельный журнал, который, хотя этот печатный орган предназначен для профессиональных научных работников, обычно от корки до корки прочитывается корреспондентами всех важнейших средств массовой информации.

Так в 1974 г. широкая публика получила доступ к дискуссии ученых, которые уже не могли игнорировать или замалчивать вопрос о безопасности своих исследований в области генной инженерии. Группа Берга в письме (оно было озаглавлено «Потенциальные биологические опасности рекомбинантных ДНК») рекомендовала «тщательно взвешивать» вопрос о введении ДНК животных и человека в бактерии. Фактически это было призывом наложить на создание молекулярных химер временный, до созыва международной конференции, мораторий, первая попытка саморегулирования научной биологической деятельности. Напомним, что в 40-е гг. прошлого века группа ученых во главе с физиком Лео Сцилардом обратилась к своим коллегам с просьбой приостановить публикацию научных результатов, чтобы лишить фашистскую Германию доступа к ядерной информации. Но на сей раз борьба шла уже за запрещение не атомной, а генной бомбы. Вот так началось то, что позднее «честный Джим»,

Джеймс Уотсон, назовет «драмой вокруг ДНК». В феврале 1975 г. в Асиломаре (Калифорнийское побережье США, здесь в уединенном, обдуваемом океанскими ветрами месте находится центр по проведению научных форумов) состоялась крупная международная конференция. Собрались 140 ученых из 17 стран, были здесь и советские молекулярные биологи — академики Владимир Александрович Энгельгардт, Александр Александрович Баев и другие исследователи. Обсуждались не только научные, связанные с конструированием гибридных ДНК проблемы, но и социальные, этические и иные аспекты этих работ.

Некоторые доклады ученых носили сенсационный характер. Так, выяснилось, что в США уже был невольно поставлен масштабный эксперимент на людях. *Оказалось, что вакцина против полиомиелита заражена жизнеспособным вирусом SV40. За десятилетний период, с 1953 по 1963 г., эту зараженную вакцину привили примерно сотне миллионов детей.* Причем проверка показала, что вирус SV40 сохраняется в организме. Однако, к счастью, никакого увеличения частоты раковых заболеваний у этих детей отмечено не было. В Асиломаре разгорелся жестокий спор сторонников и противников продолжения генетических экспериментов. Решение конференции было половинчатым: генно-инженерные работы были запрещены лишь частично. По степени риска эксперименты были разбиты на три категории — от опытов с минимальным риском до высокоопасных.

Многие генно-инженерные эксперименты было решено вести в особых лабораториях. К ним допускались лишь те, кто сдал экзамен по «технике генетической безопасности». Весь воздух, выходящий из лаборатории (он мог содержать опасные микробы), должен был пропускаться через системы сложных фильтров. Экспериментатор, работающий в перчатках, имел дело с биоматериалом, который находился в специальной защитной кабине, отделенной от остальной части лаборатории завесой из циркулирующего воздуха. Персонал перед выходом из лаборатории обязан был принимать душ и менять одежду.

Все это очень усложняло до того сравнительно простые эксперименты, которые вели молекулярные биологи. В США требованиям, предъявляемым к «очень опасным» работам, больше всего тогда соответствовала лаборатория базы ВВС в Эймсе (Калифорния). Она была спроектирована и построена для содержания в карантине образцов грунта, доставленных с Луны.

В те годы не только в США, но и во многих других странах началась работа над инструкциями по допустимым условиям генно-инженерной деятельности. В СССР особая комиссия (ее возглавил академик А.А. Баев) разработала «Временные правила безопасности работ с рекомбинантными ДНК» (1978). Конференция в Асиломаре не смогла дать

исчерпывающих ответов на все вопросы, поднятые Поллаком, Бергом и другими исследователями. Ученые еще раз отчетливо осознали всю бездну своего незнания. В таких условиях принять какие-то радикальные меры было трудно. Постепенно шум вокруг «расщепленной» ДНК затих. Запреты на опыты были сняты. Но хотя страсти временно улеглись, проблема потенциальной опасности подобных исследований не стала менее значительной. Первооткрыватель структурных особенностей ДНК Эрвин Чаргафф вопрошал тогда: «Имеем ли мы право необратимо противодействовать эволюционной мудрости миллионов лет только для того, чтобы удовлетворить амбиции и любопытство нескольких ученых?». Чаргаффу с неменьшими резонами отвечал американец Герберт Бойер (он первым генно-инженерными путями синтезировал инсулин): «Эта так называемая эволюционная мудрость, которая дала нам комбинацию генов для бубонной чумы, оспы, желтой лихорадки, тифа, полиомиелита, диабета и рака. Это та мудрость, которая продолжает давать нам не поддающиеся контролю болезни, такие, как лихорадка Ласса, магдебургский вирус и совсем недавно вирус геморрагической лихорадки, приносящий около 100 процентов смертности у инфицированных людей в Заире и Судане». Неудовлетворенный подобной аргументацией, сомневающийся, что вероятность опасных последствий можно свести к минимуму, Эрвин Чаргафф со смесью иронии и тревоги заметил тогда: «Поджигатели сформировали свою собственную пожарную команду» [Глазко, 2006].

Не все были согласны со столь пессимистическими оценками. Были и полярные мнения, что-де рекомбинантные ДНК совершенно нежизнеспособны вне тех искусственных условий, в которых их культивируют. Так что никакой, дескать, опасности нет. Что ситуация полностью под контролем. Что опасны и зажигалка, и газовая плита, и электрический утюг. И что было бы безрассудно отказаться от генетических исследований просто из соображений «как бы чего не вышло».

Ситуация под контролем? Действительно, за прошедшие (с 1972 г.) полвека ни одной генной аварии вроде бы не произошло. Но вспомним Чернобыль: 32 года (с 1954 г.), когда в СССР, в Обнинске, была построена первая в мире АЭС, атомные станции казались абсолютно надежными, и вдруг...

Первый испытательный ядерный взрыв был произведен в США 16 июля 1945 г. Атомная бомба — не игрушка. Весь земной шар может превратиться в одну гигантскую бомбу. Немудрено, что тень от ядерных взрывов легла и на генно-инженерные исследования. Общественность США была склонна толковать добровольный «мораторий» молекулярных биологов по-своему. Раз что-то запрещают, рассуждали неспециалисты, значит, все эти опыты крайне опасны. Подобные настроения подо-

гревала и пресса. Это ее вина, что некомпетентные, далекие от науки люди считали себя вправе в середине 70-х гг. XX в. (разгар генно-инженерного кризиса) обличать науку. Рядовые читатели, узнавая из газетных и журнальных статей с хлесткими заголовками об успехах и неудачах наук, не только критиковали ученых, отпускали в их адрес колкие, язвительные замечания и упреки, но и в самом прямом смысле вершили над наукой «правый» суд.

Науку судили и раньше. Вспомним хотя бы, какие страсти разгорелись после выхода в свет книг Чарлза Дарвина о происхождении и эволюции человека. В 1926 г. в городе Дейтон (штат Теннесси, США) состоялся знаменитый «обезьяний процесс». Учитель Д. Скопе обвинялся в том, что он в школе излагал теорию Дарвина (ее преподавание в ряде южных штатов было запрещено). Высокий суд тогда отклонил требование защиты о вызове в качестве свидетелей ученых. Скопе же был приговорен к денежному штрафу.

Было всякое. Однако раньше общественность (граждане, не имеющие специальной подготовки для понимания проблем современной науки) не вмешивалась непосредственно в дела ученых, не пыталась диктовать им, какие исследования надо вести, какие нет. Это случилось только в наши дни.

Когда жителям Кембриджа (город ученых в штате Массачусетс, США, здесь находятся знаменитые Гарвардский университет и Массачусетский технологический институт) стали известны планы Гарвардского университета построить для молекулярных биологов лабораторию, то решение этого вопроса было отдано мэром города Альфредом Велуччи на откуп комиссии горожан. В нее вошли: медсестра-монахиня (она заведовала больницей), инженер-строитель, владелец небольшой компании, снабжающей горожан топливом, обеспеченная домохозяйка, два врача, философ и еще несколько представителей общественности. Им-то и вменялось определить степень безопасности предполагаемых научных изысканий в строящейся лаборатории. «Эксперты» заседали в Кембриджской городской больнице: дважды в неделю эта разнородная группа собиралась, чтобы поговорить о ДНК. Члены комиссии держались с учеными (их также приглашали на заседания) на «ты». И это было как раз то, чего ученые так опасались. В результате этих переговоров (дело происходило летом 1976 г.) запланированные учеными эксперименты были сначала отложены на семь месяцев, а в феврале 1977 г. городской совет и вовсе принял постановление (первое постановление такого рода в США), устанавливающее ограничения на исследования ДНК на всей территории Кембриджа [Глазко, Чешко, 2007].

Опасность применения пестицидов

А на самом деле, что опаснее — генетически модифицированные организмы или использование химических веществ (пестицидов) для защиты от болезней и вредителей? Давайте разберемся.

Как известно, термин «пестициды» состоит из латинских слов — *pestis* (зараза) и *caedo* (убиваю). Их производство стало выгодным бизнесом для агропромышленных корпораций. С 1998 г. продажа пестицидов увеличилась на 5% и достигла 31 млрд долл. И растет каждый год... Лидером их поставок на мировой рынок была компания «Новартис» (Швейцария), которая довела объем продаж химикатов до 4 млрд долл. Главные экспортеры пестицидов сегодня — Франция, Германия, США, Великобритания и Швейцария — получают весомую часть своих прибылей за счет торговли пестицидами.

Дорогостоящие рекламные кампании, замалчивание успехов биологических методов защиты растений, вообще весь арсенал современных методов обработки общественного мнения используется мощными химическими концернами для удержания позиций на рынке пестицидов. Вместе с тем анализ результатов многолетнего применения богатейшего арсенала пестицидов говорит о том, что попытки решить проблему повышения продуктивности сельского хозяйства за счет химизации практически исчерпаны и накопление пестицидов в почвах, продукции сельского хозяйства, организмах домашних и диких животных и человека уже привело к ряду неприятных последствий. Одно из них — уже упоминавшееся повышение устойчивости насекомых (объектов применения инсектицидов) к применяемым ядам, что ведет к увеличению доз при обработке полей и введению все более токсичных ядохимикатов. Это уже привело к тому, что сельское хозяйство стало одним из наиболее опасных для здоровья видов деятельности. Так, по числу мутагенов (а именно пестициды являются основными мутагенами в сельском хозяйстве) оно занимает второе место после отходов промышленности, опережая по этому показателю бытовую химию, медицину, транспорт, и «поставляет» людям 21% всех химических мутагенов. Мутагенное и канцерогенное действие пестицидов — не единственная опасность для здоровья людей, связанная с ними. Специальными исследованиями показано, что пестициды вызывают многочисленные нарушения деятельности нервной системы, органов чувств, системы пищеварения, генеративных функций. Расчеты [Таиров и др., 1986] свидетельствуют о том, что в США, где особенно популярны пестициды, от 10 до 18% смертей могут быть связаны с их действием. Анализ эффективности пестицидов и прогноз результатов перехода к биологическим методам защиты растений позволяют рассчитывать на постепенное избавление от опасного насыщения пестицидами экосистем, включая агросистемы.

Поскольку все применяемые на практике способы обработки пестицидами сельскохозяйственных культур связаны с распылением соответствующих растворов или порошков в воздухе, не оседающая на поверхность часть препарата образует более или менее устойчивые аэрозоли, которые разносятся даже слабым ветром на значительные расстояния. Дополнительное, хотя и не такое большое количество пестицидов, в частности инсектицидов, добавляют в воздушную среду обработки очагов трансмиссивных заболеваний против кровососущих насекомых-переносчиков. Воздушная среда находится в контакте и непрерывном взаимодействии с водами, почвами, растительностью. Это приводит к распространению пестицидов практически во всех средах на Земле, и хотя их концентрация максимальна в зонах непосредственного применения, на нашей планете уже нет места, абсолютно свободного от присутствия хотя бы следовых количеств этих ядов [Розанов, 2001].

Многие загрязнители обладают одновременно канцерогенным (вызывающим раковые заболевания) и мутагенным (вызывающим повышение частоты мутаций, включая нарушения, ведущие к уродствам) свойствами, поскольку механизм их действия связан с нарушениями структуры ДНК или клеточных механизмов реализации генетической информации. Такими свойствами обладают как радиоактивные загрязнения, так и многие химические вещества органической природы — продукты неполного сгорания топлива, ядохимикаты, применяемые для защиты растений в сельском хозяйстве, многие промежуточные продукты органического синтеза, частично теряемые в производственных процессах.

Опосредованное влияние, т.е. воздействие через почву, растительность и воду, связано с тем, что те же вещества попадают в организм животных и человека не только через дыхательные пути, но и с пищей и водой. При этом область их воздействия может существенно расширяться. Например, ядохимикаты, сохранившиеся в овощах и фруктах в опасных количествах, воздействуют не только на население сельских районов, но и на жителей городов, питающихся этой продукцией.

Опасность бесконтрольного применения пестицидов возрастает еще и от того, что продукты их метаболизма в почве иногда оказываются более токсичными, чем сами использованные на полях препараты.

Кроме того, несмотря на «зеленую революцию», развивающиеся страны в ходе ее проведения не смогли создать самодостаточные аграрные экономики. Сельскохозяйственные реформы под эгидой МВФ сделали страны «третьего мира» заложниками глобального продовольственного рынка, на котором всего 10 корпораций контролируют все аспекты сельскохозяйственного производства в мире. На долю четырех из них приходится 90% мирового экспорта кукурузы, пшеницы, табака, чая и ананасов. По прогнозам МВТ, многие страны Азии и Африки вынуждены

будут почти удвоить импорт зерновых до 2020 г. Поэтому можно ожидать, что создание генетически модифицированных растений могло бы способствовать решению таких вопросов, как повышение урожая без дополнительного ущерба для экологии. Однако не все страны готовы довериться западным технологиям. Индия, например, проводит свои собственные исследования и оценки.

Широкое использование минеральных удобрений способствовало повышению урожайности зерновых, но вызвало нарушение глобального азотного баланса. Дальнейшее наращивание использования пестицидов создает огромную угрозу здоровью миллионов потребителей и хлеборобов. По оценке ВОЗ, ежегодно 3 млн человек отравляются пестицидами и более 200 тыс. при этом умирают; до 25 млн сельскохозяйственных рабочих подвергаются воздействию химических веществ с риском для жизни [Глазко, Чешко, 2007].

Возможная опасность ГМО и их научная проверка

При рассмотрении проблемы возможного влияния трансгенных растений на окружающую среду в основном обсуждается три аспекта [Вельков, 2000].

1. Сконструированные гены могут быть переданы с пылью близкородственным диким видам, и их гибридное потомство приобретет новые привнесенные свойства или способности конкурировать с другими растениями.

2. Трансгенные сельскохозяйственные растения могут стать сорняками для сельского хозяйства и вытеснить произрастающие рядом другие растения.

3. Трансгенные растения могут стать прямой угрозой для человека, домашних и диких животных (например, из-за их токсичности или аллергенности).

К настоящему времени выполнены экспериментальные исследования этих возможностей и получены следующие данные.

Проведена оценка трансгенного рапса по способности к инвазии с целью определения, станут ли гербицидустойчивые растения более склонными к распространению в естественных условиях. При изучении демографических параметров трансгенного и обычного рапса, выращенных в различных местах и различных климатических условиях, получены данные прямого сравнения трех различных генетических линий: контроль, канамицинустойчивая и гербицидустойчивая (Баста). Несмотря на значительные колебания по выживанию семян (при их хранении в земле), росту растений и семенной продуктивности, не обнаружены данные, указывающие, что генетическая инженерия по канамицин- и герби-

цид-устойчивости усилила инвазивные свойства рапса. В случаях когда наблюдали значительные различия, например, по выживанию семян, трансгенные растения оказались менее стойкими по сравнению с обычными.

При изучении частоты переноса гена *bar* (устойчивости к гербициду Баста) окружности диаметром 9 м были засеяны трансгенным рапсом среди гектара обычных растений. Для улучшения перекрестного опыления в поле стояли ульи с пчелами. Семена собирали на расстояниях 1, 3, 12 и 47 м от этих окружностей и в потомстве определяли наличие гибридных растений. Частота перекрестного опыления составила на расстоянии 1 м — 1,4%, 3 м — 0,4%, 12 м — 0,02% и 47 м — 0,00034% (три гибрида на миллион растений).

Определение частоты перекрестного опыления между трансгенным картофелем *S. nigrum* и *S. dulcamara* показало, что когда трансгенные и контрольные растения выращивали в соседних рядах, то частота скрещивания между ними составляла 24%, при увеличении расстояния до 10 м она составляла 0,017%, а при 20 м не обнаружено гибридных растений.

Еще одним аспектом влияния трансгенных растений на окружающую среду является получение трансгенных растений с лучшей способностью использовать минеральные соединения, что, кроме усиления роста, будет также препятствовать смыву химикатов в грунтовые воды и попаданию в источники водопотребления.

Ген *CHL1* арабидопсиса контролирует транспорт нитратов и влияет на их поглощение из почвы. Изолирован гомологичный ему ген *OsNTI*. У трансгенных растений арабидопсиса с геном *CHL1* поглощение азота усиливалось. ДНК *CHL1* и *OsNTI* была слита с промоторами *Act1* и *Ubi1*, и эти конструкции были интродуцированы в растения риса. Среди трансгенных растений, подвергнутых анализу, растение со множественными инсерциями *Ubi1-CHL1* характеризовалось типичным для растений с повышенным поглощением нитратов соотношением корневой и надземной массы.

Ген глюкуронидазы (*GUS*), изолированный из *Escherichia coli*, — один из наиболее широко используемых репортерных генов у трансгенных растений. Этот ген чаще всего используется для изучения экспрессии генов при его подстановке под промоторы соответствующих генов. Выпуск на рынок трансгенных сортов сельскохозяйственных растений, имеющих *GUS*-ген в качестве репортерного, требует оценки биобезопасности этого гена. *GUS*-активность обнаружена у многих видов бактерий и поэтому представлена в организмах беспозвоночных и позвоночных. В организмах позвоночных *GUS*-активность обязана попаданию энтеробактерии *Escherichia coli*, обитающей в кишечном тракте, в почве и грунтовых водах, поэтому дополнительная активность *GUS*, добавленная в экосистему

за счет трансгенных растений, не изменит вовсе или изменит незначительно существующую ситуацию.

Нет оснований полагать, что трансгенные культуры, экспрессирующие *GUS*-ген, будут иметь какие-либо преимущества перед другими культурами и будут сорняками или такими преимуществами станут обладать сорняки, получившие этот ген за счет скрещивания с родственными видами сельскохозяйственных растений.

Так как глюкуронидаза встречается естественно в кишечном тракте человека и других позвоночных, ее наличие в пище или кормах, полученных из трансгенных растений, не причинит им вреда. Поэтому наличие *GUS*-гена в трансгенных растениях считается безопасным для человека, животных и окружающей среды.

Среди естественных компонентов биосферы значительное место занимают микроорганизмы. В силу высокой скорости эволюции микроорганизмы наиболее эффективно реагируют на изменение окружающей среды, так что исследование природных микробных сообществ позволяет наиболее оперативно оценить влияние изменений окружающей среды на биоразнообразие. Такие исследования приобретают в последние годы важное значение в связи с широким распространением генетически модифицированных микроорганизмов и возможным попаданием их в естественные микробные сообщества. Все эти воздействия могут создать проблемы, связанные с распространением чужеродных генетических конструкций в природных сообществах, так называемым горизонтальным переносом генов, что неминуемо приведет к существенному ускорению эволюции микробных сообществ, появлению новых форм с новыми генетическими признаками. Оценка устойчивости таких форм и содержащихся в них конструкций, а также последствий их появления в природе чрезвычайно важна для разработки стратегий последующего развития общества.

Для оценки возможного влияния генетически модифицированных растений на экосистемы почвы листья контрольных и трансгенных растений табака с геном ингибитора протеазы, обладающим инсектицидной активностью, помещали в почву. Содержание ингибитора протеазы через 5–7 дней составляло 0,05% исходного количества и через две недели уже не детектировалось. Количество нематод в почве около остатков трансгенных растений было выше, чем около контрольных растений. Популяция *Collembola*, наоборот, была менее численной возле остатков трансгенных растений, что указывает на наличие влияния остатков трансгенных растений на популяции нематод и *Collembola*.

Иногда высказываются опасения о возможном горизонтальном переносе генов от трансгенных растений в почвенные микроорганизмы. Определена частота возможной трансформации почвенной бактерии *Acineto-*

bacter calcoaceticus BD413 ДНК трансгенных растений при двух источниках ДНК растений, различных форм плазмидной ДНК с геном *nptII*. Не обнаружены трансформанты при использовании ДНК трансгенных растений, что предполагает частоту трансформации ниже 10^{-13} трансформантов на реципиент в оптимальных условиях. Однако в условиях почвы при снижении концентрации ДНК, доступной бактериям, эта частота должна снизиться до 10^{-16} . Учитывая ранее полученные данные об ограниченном времени сохранения хромосомной ДНК и невозможности определения детектируемой компетентности клеток *A. calcoaceticus* в почвенных условиях, полученные результаты приводят к выводу о неопределяемой частоте возможного поглощения растительной ДНК этим почвенным микроорганизмом в естественных условиях.

Изучена стабильность ДНК в листовом опаде трансгенных растений сахарной свеклы, устойчивых к ризомании, и возможность горизонтального переноса от ДНК растений к бактериям. Трансгенные растения несли *bar*-гены. Показана длительная сохранность растительной ДНК в почве. Не обнаружен перенос специфичных конструкций трансгенной ДНК к микроорганизмам, изолированным из почвы.

Исследования показывают, что экологический риск при выращивании трансгенных растений можно сравнить с риском испытания новых селекционных сортов, полученных без применения биотехнологических методов. Все соединения, которые появляются в трансгенных растениях, уже существуют в природе. Все дело в скорости появления этих признаков у растений. То, что в природе произошло бы за тысячелетия, в экспериментах ученых происходит за годы.

Следует ли опасаться появления трансгенных растений, скажем того же масличного рапса, устойчивого к гербицидам, потому что он может скреститься с сурепкой и та станет устойчивой к этому гербициду? Определенный риск, конечно, существует, однако о появлении сорняков, устойчивых к гербицидам, известно уже давно и это не вызывало ранее никаких опасений. Просто подбирали другой гербицид, к которому данный сорняк был нестойким. Так же и в случае появления сорняков, устойчивых к какому-либо гербициду за счет скрещивания с трансгенными гербицид-устойчивыми растениями, будут применены другие гербициды, которые и уничтожат эти сорняки, но оставят трансгенные растения, устойчивые к этому гербициду.

Существует ли опасность изменения трансгенных растений таким образом, что они станут токсичными для человека и животных? Даже теоретически трудно себе представить, что введение одного или нескольких генов в высший эукариотический организм, геном которого состоит из десятков тысяч генов, так изменит его метаболизм, что это растение станет синтезировать какие-либо токсические соединения, не свя-

занные с экспрессией введенного гена. Конечно, в каждом случае внесения нового гена получаемые трансгенные растения должны проходить тщательные испытания. При этом исследуют продукты метаболизма, кодируемые вносимым геном, и только после этого такие трансгенные растения изучают в полевых условиях.

И хотя обмен генов между сконструированными трансгенными растениями и родственными им культурными и дикими видами, по мнению большинства биотехнологов, не представляет угрозы для окружающей среды, предпринимаются попытки разработки системы, полностью препятствующей такому переносу генов. Одним из подходов к решению этой проблемы является создание мужскостерильных растений. Однако, несмотря на свою эффективность, в настоящее время, он ограничен небольшим количеством видов сельскохозяйственных растений.

Другим подходом является внесение желаемых генов в хлоропластный геном. Для подавляющего большинства видов культурных растений хлоропласты наследуются строго по материнскому типу, и таким образом, трансгены не будут передаваться с пыльцой. Первые исследования в этом направлении были проведены в лаборатории П. Малиги и показали возможность внесения в хлоропластный геном маркерных генов.

Таким образом, можно суммировать имеющуюся информацию об опасностях, которые надо учитывать, в следующих пунктах.

1. Принцип создания векторов — имитация естественного процесса горизонтальной передачи наследственной информации, при которой вовлекаются эволюционно-естественные пути обмена генетического материала, не исключен запуск событий, которые могут привести к изменениям межвидовых барьеров переноса генетического материала патогенов.

2. Интеграция нового материала в геном не может к настоящему времени рассматриваться как полностью прогнозируемый процесс — возможен запуск событий «инсерционного» мутагенеза.

3. У генетически модифицированных растений:

а) модификации, связанные с увеличением устойчивости к гербицидам и паразитам, не учитывают традиционные проблемы коэволюции хозяина и паразита, возможность передачи генетического материала устойчивости к сорнякам;

б) модификации с целью получения фармакологических препаратов не учитывают неисследованные последствия для иммунной системы человека и животных изменений антигенного состава пищевых продуктов;

в) не учитывается тот факт, что широкое использование генетически модифицированных растений неизбежно приводит к изменениям биоразнообразия в глобальном масштабе.

4. У генетически модифицированных животных:

а) при их получении в целях увеличения продуктивности недостаточно исследованы последствия использования человеком продукции генетически модифицированных животных для эндокринной и иммунной систем человека, а также потенциальных источников распространения дестабилизирующих генетических элементов;

б) при использовании ГМО животных для тиражирования геномов высокопродуктивных особей не исключено распространение скрытых генетических дефектов, а также изменение биоразнообразия внутри сельскохозяйственных пород;

в) в терапевтических целях недостаточно изучены последствия преодоления трансплантационного межвидового барьера, не исключены влияния на иммунную систему хозяина, а также возможно облегчение преодоления межвидового барьера патогенами [Глазко, Чешко, 2007].

В проблеме трансгеноза есть ряд нерешенных и теоретических проблем, например одна из них — «сайленсинг» — замолкание встроенных генов. Это явление известно довольно давно, но конкретные механизмы, приводящие к выключению встроенных генов, пока не вполне ясны. Созданы специальные модели для изучения влияния числа копий генов. За контроль взята встройка одной копии гена глюкуронидазы в связке с геном-репортером по канамицин-устойчивости, двух копий генов в прямой последовательности и тех же двух копий, но уже инвертированных друг к другу. Введение повторенных нуклеотидных последовательностей в виде прямых и, особенно, инвертированных повторов резко снижает уровень экспрессии гена канамицин-устойчивости. Влияние числа копий или места встройки переносимых генов на их экспрессию, уровень активности или полное выключение — лишь один из механизмов явления сайленсинга, активно изучаемого в ряде лабораторий [Шумный, 2001].

Другая важная проблема в процессе трансгеноза — возникновение мутаций как следствие встройки чужеродной ДНК (Т-ДНК инсерций). Собрана целая коллекция Т-ДНК индуцированных мутаций, характеризующихся, например, измененным строением цветка и мужской стерильностью. Мутантные фенотипы появляются с частотой до 5%. Установлено, что у большей части проанализированных растений мутантный фенотип наследуется сцепленно с признаком устойчивости к антибиотику канамицину, что свидетельствует об инсерционной природе мутационных событий в результате интеграции чужеродной ДНК в геном растений [Шумный, 2001] [<http://do.gendocs.ru/docs/index-206460.html>].

Очевидно, что для предупреждения вышперечисленных событий прежде всего необходимо:

1) наличие в генных конструкциях специальных последовательностей, позволяющих легко уничтожать клетки их носителей;

2) использование традиционных приемов проверки на мутагенную активность всей продукции, связанной с ДНК-технологиями, с обязательным использованием тестов *in vivo* — лабораторных линий мышей и клеточных культур человека с учетом возможных кумулятивных эффектов со стрессирующими агентами;

3) контроль изменения генофондов популяций трансгенных растений и животных, их репродуктивной изоляции от полученных традиционным путем;

4) контроль изменения биотической компоненты агросистем, в которых разводятся трансгенные растения (микрофлора почвы, сорняки, насекомые и т.д.).

К сложностям использования генетически модифицированных растений, устойчивых к насекомым, относят следующие.

1. Возможность приобретения насекомыми толерантности к токсинам. Так, обнаружено, что у сельскохозяйственного вредителя кукурузного мотылька (*Ostrinia nubilalis*) есть формы, устойчивые к *Bt*-токсину. Устойчивость контролируется аутомсомным геном с неполным доминированием. Это может в скором будущем сделать использование *Bt*-модифицированных растений бессмысленным.

2. Противоречивость данных о токсичности для теплокровных животных и людей.

Исходя из этого, дальнейшее развитие использования ДНК-технологий в защите растений от насекомых будет осуществляться в направлении создания генетически модифицированных растений, несущих гены более эффективных и безопасных инсектицидов. Так, например, в последнее время развернуты работы по замене в генных конструкциях при получении трансгенных растений, устойчивых к насекомым, бактериального гена *Bt*-токсина на ген яичного белка авидина курицы. Принцип его действия основан на том, что авидин, накапливающийся в растениях, приводит к дефициту витамина биотина в тканях насекомых, что блокирует их онтогенез и приводит к их гибели. В то же время продукт гена авидина входит в пищу человека, его концентрации в трансгенных растениях токсичны для насекомых, но нетоксичны для человека; и даже при избыточном потреблении таких растений человеком возможные негативные эффекты могут быть скомпенсированы введением в пищу витамина биотина.

В настоящее время очевидно, что к потенциальной опасности распространения и использования генетически модифицированных организмов подходят на основании «двойного стандарта», что легко можно увидеть из двух сопоставлений, представленных ниже.

1. Влияние наличия аллергенных эффектов экзотических белков генных конструкций на иммунную систему человечества, так же как и появ-

ление устойчивости бактериальной компоненты человека к антибиотикам, нельзя рассматривать отдельно, как самостоятельную проблему, а только по сравнению с такими же эффектами тех химических веществ, инсектицидов, пестицидов, гербицидов, которые они замещают. То есть пищевую опасность эндотоксина *Bacillus thuringiensis* (Bt), наиболее распространенного элемента генных конструкций в защите трансгенных растений от насекомых, нужно сравнивать с пищевой опасностью того же эндотоксина, который попадает в пищу при его использовании в качестве химического средства защиты растений, с учетом объемов его внесения в целые агросистемы. Что, в общем, никогда не рассматривается противниками ГМО, хотя сам метод получения ГМО вырос из объективной необходимости снижения химизации сельского хозяйства и медицины, достигшей, очевидно, катастрофических размеров в сравнении с возможностью экологических систем от нее освободиться.

2. Наличие либо отсутствие генетического потока, связанного с ГМ, вероятность появления суперсорняков, новых вирусов не могут являться предметом общих рассуждений, а должны подкрепляться прямыми экспериментальными данными, которые к настоящему времени, несмотря на выполненные специальные исследования, отсутствуют в виде строго доказанных экспериментальных результатов. Кроме того, генный поток, если он выявлен, может быть исключен путем создания стерильных ГМ и специально разработанных методов гибели растений после определенной стадии развития. Кроме того, если оказывается, что данная форма ГМ действительно несет высокий риск генного потока по каким-то другим причинам, ее просто нужно исключать из воспроизводства.

Необходим «эквивалентный» подход к опасности ГМ-растений, при котором учитывается опасность их неиспользования — применения традиционных агротехнологий, поскольку хорошо известно, что химизация агросистем приводит к глубоким экологическим изменениям и способствует появлению как новых суперсорняков, так и экспансии новых вирусов, дестабилизации генофондов сельскохозяйственных и диких видов. И только глубокие исследования глобальных изменений биосферы, связанных с деятельностью человека в XIX–XX вв., связанных с техногенной революцией, могут служить тем контролем, по отношению к которому нужно оценивать возможную угрозу ГМ для биоразнообразия планеты [<http://nature.web.ru/db/msg.html?mid=1178029>], [Глазко, Чешко, 2007]. Несмотря на отсутствие компромисса между защитниками и противниками использования ГМ-растений, общая мировая площадь посевов ГМ-культур увеличилась в 100 раз — с 1,7 млн га в 1996 г., до 179,7 млн га в 2015 г.

Согласно многим данным особую часть прибыли составляет уменьшение негативного влияния выращивания культурных растений на окружа-

ющую среду при использовании ГМ, что связано с уменьшением применения пестицидов, снижением эрозии почв, затрат воды, уменьшением использования сельскохозяйственной техники. Выполненный многими исследователями анализ констатирует, что современные биотехнологии увеличивают общую эффективность использования хлопка на 300%, сои — на 45%, кукурузы — на 14%. С. Санкула утверждает, что увеличение использования ГМ способствует росту прибыли. Коммерческие преимущества для фермеров при использовании ГМ-сортов являются ключевым фактором для их распространения. NCFAR является некоммерческой, открытой исследовательской организацией, расположенной в Вашингтоне [Глазко, Чешко, 2007].

Об изменении этих показателей в последующие годы см. отчет Международной сорганизации внедрения агроботехнологических разработок (International Service for the Acquisition of Agribiotech Applications, ISAAA) за 2012 г. [<https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/44/executivesummary//>]

Мы приведем лишь небольшой фрагмент резюме этого документа. Площадь биотехнологических культур к 2012 г. увеличилась 17 лет подряд. Биотехнологические культуры выращивались на рекордных 170,3 млн (прирост на 6%, или на 10,3 млн га по сравнению с 160 млн га в 2011 г.). 2012 г. являлся 17-м годом коммерциализации биотехнологических культур (1996–2012 гг.) В 2012 г. отмечено беспрецедентное 100-кратное увеличение площадей под биотехнологическими культурами с 1,7 млн га в 1996 г. до 170 млн га в 2012 г., что делает биотехнологические культуры наиболее быстро адаптируемой сельскохозяйственной технологией в новейшей истории. За 17-летний период, с 1996 по 2012 г., миллионы фермеров в более чем 30 странах мира выращивают биотехнологические культуры. Из 28 стран, которые высевали биотехнологические культуры в 2012 г., 20 являлись развивающимися и 8 — промышленно развитыми странами. Таким образом, существует в 3 раза больше развивающихся стран, выращивающих биотехнологические культуры, чем промышленно развитых стран (см. также [Rhodora. R et al., 2015]).

Принятые к настоящему времени рамочные фундаментальные принципы оценки риска получения и использования ГМ-организмов заключаются в следующем:

- 1) оценка риска имеет научную основу, а не является предположением;
- 2) она выполняется последовательно от одного варианта ГМО к другому;
- 3) оценка риска повторяется постоянно и пересматривается с появлением новой информации;
- 4) включается вся доступная информация.

Относительно последнего пункта: доступная информация не ограничивается научными фактами, поскольку персональное мнение и персональная предубежденность также должны учитываться в оценке риска. Ясно, что более объективная, квалифицированная информация обычно менее результативна в решении конкретных проблем использования ГМО, чем более популярная.

Однако в комплексной проблеме экологии растений множество параметров недоступны для количественной оценки и они должны быть определены хотя бы как качественные параметры. Это особенно очевидно в случае оценки опасности использования ГМО для конкретных экосистем. Другой момент — опасность использования ГМО в широком экологическом смысле (не в связи с генным горизонтальным потоком от ГМО) требует четкого сравнительного анализа.

Однако сами domesticiрованные виды без ГМО тоже формируют генные потоки к сорнякам и другим видам. Так что оценка ГМО может выполняться только по отношению к исследованиям сортов того же происхождения, но свободных от внедрения искусственных генетических конструкций. Отсутствие глубоких исследований последних приводит к ошибочным представлениям об опасности генного потока от ГМО для, например, сохранения биоразнообразия. Более того, такая опасность существовала во все тысячелетия использования domesticiрованных форм среди диких, с этим и нужно сравнивать генный поток.

Например, модифицированная кукуруза, которая проявляет те же самые характеристики, что и ее немодифицированные варианты, в отношении количества семян, их репродуктивной функции, должна рассматриваться как неизменная форма в отношении опасности возникновения нового генного потока. Очевидно, должен быть баланс, при котором научные обсуждения должны увеличивать качество новых тест-систем ГМО и приносить новое знание, а не блокировать их развитие вообще. Поскольку в глобальном масштабе совершенно не ясно, как можно добиться увеличения пищевой продукции, снижая химизацию сельского хозяйства и добиваясь очищения от средств химической защиты растений агро-систем, без чего невозможно дальнейшее устойчивое развитие человечества. Научные исследования генетически модифицированных растений, которые экспрессируют продукты генов с пестицидным эффектом (т.е. устойчивость к насекомым или болезням), выполняются в США экспертами, которые анализируют характеристики продукции (последовательность трансгена и его функции, анализ их локализации в геномах растений, генетическая стабильность/наследуемость, последовательность белков и их функция, уровень экспрессии, сравнение последовательностей с базой данных токсинов и аллергенов, белковой термостабильности), острую токсичность для млекопитающих (оральные нагрузки для

крыс), острые токсические нагрузки для птиц, эффекты для видов — мишеней действия (рыбы, водные и почвенные беспозвоночные и т.д.), потенциальный генный поток, его судьбу в разных средах и потенциал к перенесению в семенах [Глазко, Чешко, 2007].

«Движение сопротивления».
«Биотехнологический протокол»
так и не был подписан

Достижения генетиков радуют далеко не всех. В мире уже появились профессиональные борцы с «индустриальной пищей». Они уничтожают посевы с генетически измененными культурами, отказываются от консервов из трансгенных томатов и других модифицированных сельскохозяйственных культур [Глазко, Чешко 2007]. Дальнейшее изложение основано на критическом анализе алармистских материалов сайта ГМО-обзор [<http://gmoobzor.com/>] и бестселлера У. Энгдаля «Семена разрушения: Тайная подоплека генетических манипуляций», опубликованного в русском переводе несколько лет назад [Энгдаль, 2009].

Мир раскололся на три лагеря. В первый входят США, Канада, Австралия, Мексика, Бразилия и Аргентина. Эти страны стоят за внедрение и коммерциализацию новых достижений генной инженерии в сельском хозяйстве. В Аргентине и Канаде даже полагают, что вовсе не обязательно указывать на этикетках продуктов наличие в них трансгенных культур.

Кто против генных новаций? Страны Африки, Малайзия, ряд латиноамериканских стран. Здесь боятся, что вал новомодной генной сельскохозяйственной продукции подорвет позиции собственных национальных производителей.

Особую позицию занимают страны Европейского сообщества. Ведя собственные генные разработки новых растений, они одновременно ограничивают импорт трансгенных растений из других стран и стараются как-то реагировать на озабоченность потребителей, робеющих или просто не желающих привыкать к новой растительной пище.

Есть ли случаи откровенной неприязни к этим нововведениям генетиков? Немецкие активисты «Гринписа» в 1999 г. устроили демонстрацию перед штаб-квартирой американской корпорации «Юнилевер» в Гамбурге. Они, нацепив маски кроликов и баранов, протестовали против производства генетически модифицированной сои.

В Англии активисты британского отделения движения «Друзья Земли» требуют введения пятилетнего моратория на производство генных продуктов. Они называют генетически измененную пищу «пищей Франкенштейна», творением злого гения.

В ноябре 1998 г. в одном из индийских штатов местные фермеры сожгли два экспериментальных поля генетически измененной пшеницы. Ее

производила американская компания «Монсанто». Ученые из этой компании изобрели особый биологический механизм, названный ими «Терминатор». Суть его в том, что зерна новой пшеницы после первого урожая уже не прорастали. Такое запрограммированное бесплодие заставляло потребителей американской пшеницы (по урожайности и устойчивости к вредителям новая пшеница была замечательной) вновь и вновь обращаться к услугам «Монсанто». Это-то оригинальное решение проблемы «авторских прав» на семена и вызвало гнев клиентов компании по всему миру. Оттого-то индусы и спалили две плантации. «Монсанто» вынуждена была отказаться от использования «Терминатора», хотя это их право и их труд.

В марте 1999 г. в колумбийском городе Картахена состоялось очередное заседание Всемирной торговой организации (ВТО). Собрались представители 130 стран. Они должны были подписать «Биотехнологический протокол», выработать правовой механизм, регулирующий производство и международную торговлю продукцией, полученной с помощью генной инженерии. Требовалось также укрепить принцип «Не навреди!». Эти переговоры с треском провалились. Расколотый на три лагеря мир не смог договориться. США и ряд других стран, являющихся основными производителями сельскохозяйственной продукции в мире, требовали режима «открытых границ». Другие участники переговоров выступали против этого. Они указывали на то, что безвредность новых продуктов для природы и людей не доказана. Требовали, чтобы фирмы-производители несли юридическую и финансовую ответственность в случае, если их новые товары начнут наносить вред.

Еврокомиссия не дала разрешения на посадку в Испании, Португалии и других странах Европы американской генетически модифицированной кукурузы. В результате США понесли убыток в размере 200 млн долл. Австрия и Люксембург вообще запретили в своих странах коммерческое выращивание растений с измененными генами. Фермеры Греции с черными флагами в руках растоптали плантации трансгенных помидоров. А английские «зеленые», надев резиновые костюмы и маски химзащиты, совершили нашествие на поля экспериментальной генетической плантации в Оксфордшире (70 км от Лондона) и уничтожили ее.

Ситуация накаляется. Страсти кипят. Даже в инертной России то разрешают ГМО, то запрещают. В США Национальная академия наук создала еще в 1999 г. комиссию из 18 экспертов, которые официально должны давать заключение о пользе или вреде генетически измененных растений и животных. Чем завершится эта борьба, сказать трудно. Но ученые пошли дальше, принципиально другим путем — геномным редактированием. В результате увеличения точности (до 1 нуклеотида) адресовки модификаций в их геномных мишенях, разработок соответствующих мето-

дов, таких как TALEN, CRIPR/Cas9, позволяющих, в том числе, влиять и на экспрессию отдельных генов, появились возможности направленного изменения работы генов без введения в организм генных конструкций, кодирующих чужеродные для данного организма белки. Несмотря на появление качественно новых возможностей получения ГМО с новыми свойствами, генные инженеры переключаются с растений как источника пищи на иное. Например, на выращивание растений, содержащих углеводороды, что позволило бы решить проблему уменьшающихся запасов нефти на планете. Но это, естественно, снижает возможности роста продовольственной безопасности. Созданы прототипы растений, в которых содержание целлюлозы значительно больше обычного, что позволит выпускать бумагу с низким уровнем токсичных отходов.

Между тем проблемы хронического голода и глобального экологического кризиса в мире как-то надо решать, а пока иной реальной альтернативы, чем генетически модифицированные организмы, никто и не предлагает...

БИОСОЦИАЛЬНАЯ ПРИРОДА ЧЕЛОВЕКА. ЭРА САМОКОНСТРУИРОВАНИЯ *HOMO SAPIENS*

Говоря о генно-технологической революции, важно помнить, что речь идет о понятии, существенно более широком, чем генная инженерия. То, что мы сегодня переживаем, не просто технологическая революция в расшифровке ДНК и манипулировании ее структурой, но революция в биологии, лежащая в основе такой способности [Глазко, Чешко, 2007].

И прежде всего остановимся на «неестественности» технологии создания ГМО. В природе ГМО «химерный» («неестественный») путь видообразования много раз был пройден: соединяются два непохожих существа, вот и получаются разом, без долгой эволюции, новые виды. Все это хорошо отражено в эволюции и истории. А.С. Фаминцын был одним из тех, кто открыл в 1860-х гг. поразительный факт: лишайник является симбиозом гриба и водоросли. Фаминцын увидел тут возможный общий принцип эволюции: и онтогенез, и эволюция предстают при этом как процесс самосборки. Другой российский биолог К.С. Мережковский предложил термин «симбиогенез» — механизм эволюции путем симбиотического объединения нескольких разных жизненных форм, для которых «классический», т.е. половой, путь обмена наследственным материалом (генами по современной терминологии) невозможен (подробнее см.: [Чайковский, 2003]).

На рубеже XIX–XX вв. эта гипотеза так и осталась ничем не подтвержденной идеей, пока в 1920-х гг. выпускник Тимирязевки, сотрудник в дальнейшем Н.И. Вавилова — Карпеченко не доказал и показал принципиальную и практическую возможность отдаленной гибридизации путем аллополиплоидии и получил плодовые капустно-редечные гибриды. Это был первый прием геномной селекции. Впоследствии технология синтеза и ресинтеза видов стала достаточно популярной.

И только в 1967 г. американский биолог Линн Маргулис обосновала окончательно естественность симбиотического происхождения в природе путем объединения в одном организме амебоидных и бактермальных (протобактерий и архебактерий) предков всех ныне живущих эукариотических (имеющих оформленное ядро и делящиеся путем митоза) клеток высших организмов. А это предположение высказывал в XIX в.

А.С. Фамицин. Но про его работы забыли. Первоначальные отзывы рецензентов на подобные исследования [Sagan, 2012] были «crap» (с англ. лучше не переводить), но теперь специалисты считают вполне доказанным, что большинство внутриклеточных органоидов — ядро, хлоропласты, митохондрии — имеют именно такое происхождение [Margulis, Sagan, 2008].

Природа не подчиняется соображениям удобства или неудобства ее исследователей. Еще Дарвин, отвечая на подобный вопрос, указывал, что чаще всего химеры, кентавры, потомство от таких скрещиваний, гибриды бесплодны. Он не знал, почему изредка из этого правила бывали все-таки исключения (гибрид Карпеченко, например, был полиплоидом, довольно редким, хотя и не единственным, случаем сложения наследственности, хромосомных наборов редьки и капусты). Но дело не только в гибридизации.

То же самое касается технологий молекулярного и клеточного клонирования, горизонтального переноса генов с помощью молекулярных векторов. Все технологии (не только био-, а все) основываются на использовании знаний о законах природы, а следовательно, не могут быть «неестественными». Другое дело, что природные явления и процессы используются таким образом, что их результат в природе не встречается или встречается крайне редко. И последствия, близкие и отдаленные, могут быть непредвиденными, в том числе опасными.

Подобная научная революция приводит к открытиям и прорывам во многих смежных областях помимо молекулярной биологии, потому что она расширяет наши знания, в том числе, и о мозге, источнике человеческого поведения, а следовательно, и возможности управлять им. И научное наступление во всех этих областях имеет потенциальные политические последствия [Глазко, Чешко, 2007; Фукуяма, 2004].

Ранее основной причиной, приводящей к полиморфизму ДНК, считались точковые мутации, затрагивающие сайты узнавания тех или иных эндонуклеаз рестрикции [Глазко, Глазко, 2008]. Сейчас основная роль отводится таким факторам, как крупные делеции и вставки, транспозиции мобильных генетических элементов и т.п. Все эти факторы приводят к различиям в длинах гомологичных фрагментов из различных геномов, которые с точки зрения классического генетического анализа могут рассматриваться как множественные аллельные формы локусов. Полиморфизм ДНК может быть предметом самостоятельного изучения, т.е. исследования эволюции ДНК (ее факторов, скорости), закономерностей изменчивости и наследования вариантов последовательностей ДНК в популяциях и филетических линиях. В основном же он используется в качестве средства маркирования гена, участка ДНК, хромосомы, генома, организма, популяции, вида в решении различных задач. В качестве ос-

новых из них можно выделить следующие: генетическое картирование; оценка генетического полиморфизма (гетерозиготность популяции, микроэволюция); ДНК-типирование (фингерпринтинг-дактилоскопия, карiotипирование) организмов, популяций, видов; филогения и таксономия организмов; использование в селекции для решения задач MAS (селекция с помощью маркеров). Последнее особенно важно по следующим причинам. Хозяйственно-ценные признаки — результат взаимодействия генотипа и среды. Эффективность селекционной работы определяется успешностью подбора к конкретным средовым условиям генотипов, носители которых в таких условиях отличаются желательной продуктивностью. Отсутствует реальная возможность контроля и управления сложными, взаимодействующими факторами внешней среды. Формирование генофонда для воспроизводства сельскохозяйственных видов по хозяйственно-ценным признакам (результатам взаимодействия генотипа и среды) и по оценке их наследуемости в потомстве — трудоемко, долговременно и не всегда эффективно, особенно с учетом быстро меняющихся условий среды в связи с антропогенными влияниями. Следовательно, увеличение эффективности селекционной работы может достигаться по пути выявления генотипов, для носителей которых имеющиеся условия позволяют развивать комплекс желательных признаков продуктивности. С этой целью используются молекулярно-генетические маркеры генов.

Одна из причин биотехнологического бума — тяга к продуктам здорового образа жизни и демографическая ситуация в развитых странах, население которых стремительно стареет [Глазко, 2011]. К 2050 г., считается, каждый четвертый житель нашей планеты будет старше 60 лет, а в Европе престарелые граждане составят до 40% населения. Никаких денег не хватит, чтобы содержать такое количество неработающих людей, обеспечив им приличную жизнь и медицинское обслуживание. Выход из этого кризиса только один — предложить биопрепараты, способные продлить период активной жизни стареющего поколения. Это снизит нагрузку на экономику. Другой вариант при этом — повышение планки пенсионного возраста. Эту идею сейчас повсеместно обсуждают в развитых странах, и здесь вновь могут помочь ДНК-технологии. Тем не менее некоторые критики противостоят идеологии и новшествам биотехнологии чуть ли не по всем вопросам. Это требует специального анализа, учитывая весьма реальную пользу ДНК-технологии для конкретных людей и медицины, а также пользу, которую приносят эти новшества для повышения производства сельскохозяйственной продукции при параллельном уменьшении антропогенной нагрузки на биосферу. Такое категорическое противостояние трудно объяснить простыми причинами, тем более что есть масса новых предполагаемых для производства веществ и продуктов. Несмотря на очевидные достоинства, это направление не бу-

дет иметь необходимого развития и внедрения без общественного признания.

Все биохимические процессы в клетке взаимосвязаны и взаимозависимы, тем не менее часть из них преимущественно выполняет функцию построения клеточного материала, а часть — снабжения источниками энергии этих «строительных работ». Поэтому биохимические процессы разделяют на два основных типа: ассимиляционные (конструктивные), называемые *анаболизмом*, включающим синтез низкомолекулярных предшественников и построение из них молекул биополимеров, и диссимиляционные (энергетические), называемые *катаболизмом*, состоящим в обеспечении организма энергией, приводящей в движение, в том числе, и анаболизм. Но в клетке на самом деле не существует резкого разграничения энергообеспечивающих и конструктивных процессов. Как правило, в результате реакций катаболизма образуются такие промежуточные продукты, которые могут «подхватываться» ферментами анаболизма и использоваться для построения структур клетки. Второе: в живой клетке широко применяется принцип организации биохимических процессов в виде метаболических циклов, когда исходный и конечный компоненты в реакции идентичны и циклы могут функционировать неопределенно длительное время при условии притока субстратов и оттока продуктов.

Многие гены кодируют белки, участвующие в качестве ферментов в тех или иных метаболических реакциях. Мутация в таком гене и его регуляторе может привести к тому, что организм будет вырабатывать менее активный или совсем неактивный фермент, а иногда и к полному прекращению синтеза фермента. При этом реакция, в норме катализируемая данным ферментом, либо замедляется, либо вообще не происходит, что и обуславливает соответствующее наследственное нарушение — одно из так называемых врожденных нарушений метаболизма. Таких нарушений известно много. Степень их влияния на фенотип зависит от того, насколько важен затронутый фермент для организма. Например, болезнь Тея—Сакса и кистозный фиброз приводят к смерти. Другие генетические аномалии не летальны, но вызывают в организме различные серьезные нарушения.

Фенилкетонурия и альбинизм затрагивают один и тот же метаболический путь. Фенилкетонурией страдают индивидуумы, гомозиготные по рецессивному гену, лишаящему их способности синтезировать один из ферментов, необходимых для превращения аминокислоты фенилаланина в другую аминокислоту — тирозин. Вместо того чтобы превращаться в тирозин, фенилаланин превращается в фенилпировиноградную кислоту, которая в токсических количествах накапливается в крови, поражает головной мозг и, если вовремя не прибегнуть к лечению, вызывает умственную отсталость. Моча больных также содержит фенилпировиноградную

кислоту, придающую ей характерный запах. В настоящее время фенилкетонурию лечат при помощи специальной диеты. Для этого в первые годы жизни ребенка из его рациона почти полностью исключается фенилаланин. По завершении развития головного мозга больного с фенилкетонурией переводят на обычный рацион; однако женщине с таким генетическим нарушением следует во время беременности придерживаться диеты с низким содержанием фенилаланина, чтобы предотвратить аномальное развитие головного мозга плода. В США и России все новорожденные в обязательном порядке подвергаются специальным тестам на фенилкетонурию и некоторые другие врожденные нарушения метаболизма.

У индивидуумов, гомозиготных по гену альбинизма, отсутствует фермент, в норме катализирующий превращение тирозина в меланин, т.е. пигмент, от которого зависит коричневый или черный цвет глаз, волос и кожи. У альбиносов белые волосы и очень светлая кожа и глаза. Естественно, может возникнуть вопрос, не являются ли больные с фенилкетонурией тоже альбиносами, поскольку в их организме отсутствует тирозин, из которого в конечном счете и получается меланин. Однако такие больные не альбиносы, потому что тирозин не только образуется в самом организме из фенилаланина, но и поступает в организм с пищей. Правда, больные с фенилкетонурией обычно бывают светлоглазыми и светловолосыми. Могут и среди них встретиться альбиносы, но лишь в том случае, если данный индивидуум гомозиготен по обоим рецессивным генам. Наблюдаемое взаимодействие касается первичных продуктов генов — ферментов, и только их кооперация ведет к возникновению пигмента.

Поскольку точно проследить путь гена до фенотипически выраженного признака нелегко, в большинстве случаев приходится опираться на внешние признаки неизвестной деятельности генов. Отсюда можно ввести такое понятие, как генная сеть, под которой понимается совокупность координировано проявляющих свое действие генов, их белковых продуктов и взаимосвязей между ними. В генной сети можно выделить несколько обязательных типов компонентов, таких как:

- 1) группы координированно функционирующих генов (ядро сети);
- 2) белки, кодируемые этими генами (выполняющие как определенные структурные, транспортные, биохимические, так и регуляторные функции);
- 3) отрицательные и положительные обратные связи, стабилизирующие параметры генной сети на определенном уровне или, напротив, отклоняющие их от исходного значения;
- 4) низкомолекулярные соединения (метаболиты и др.) и различные внешние сигналы, обеспечивающие переключение состояний генной сети.

Особенностью протекания биохимических реакций в организме является их разделение во времени и пространстве. Для полного описания

генных сетей необходим анализ протекающих в них процессов на уровне целого организма. В этом случае возможно описание генных сетей, отдельные части которых распределены по различным частям организма, таким как органелла, клетка, органы и ткани. Во взаимодействии удаленных друг от друга клеток организма ключевую роль играют молекулярные сигналы нейроэндокринной системы. Во многих случаях можно определить направленность процессов в пределах определенного фрагмента генной сети, выделить входной поток — путь передачи сигнала с рецепторов клетки к гену и выходной поток — процессы, происходящие в клетке после ответа генов на внешний сигнал. Характерная особенность организации генных сетей — их способность к саморегуляции за счет замкнутых регуляторных контуров с отрицательными и положительными обратными связями. Молекулярной основой существования таких регуляторных контуров является наличие сайтов-мишеней в ДНК, РНК и белках, с которыми могут взаимодействовать различные молекулярные компоненты генной сети и внешние регуляторные факторы. Благодаря этим двум типам регуляторных контуров возможно поддержание определенного функционального состояния генной сети или ее переход в другой режим функционирования, в том числе и под влиянием факторов внешней среды. Молекулярно-генетические исследования позволяют получать информацию о разных состояниях генов (аллельных вариантах) и непосредственно экспериментально исследовать, какие варианты отдельных генов и генных ансамблей имеют преимущественное распространение у групп организмов, несущих желательный комплекс признаков в конкретных средовых условиях. В последующем такая информация позволяет направленно формировать генофонды с необходимыми генными сочетаниями. Успешность подбора молекулярно-генетических маркеров для решения таких задач в существенной степени зависит от накопления информации о закономерностях в организации, особенностях изменчивости различных генетических элементов, из которых состоят геномы высших организмов.

Генетическая основа поведения

Наличие у человека стабильной генетически запрограммированной основы поведения на протяжении всей его истории имело колоссальные последствия. Как считал Аристотель, люди, к сожалению, по натуре — животные, но, к счастью, — культурные, т.е. они умеют учиться на опыте и передавать этот опыт своим потомкам не генетическим образом, так называемое культурное наследование. Человеческая природа жестко не определяет поведение человека, но ведет к большому разнообразию в способах воспитания детей, добывания средств к существованию и т.д.

Одной из основных проблем генетики является проблема реализации генетической информации в сложных формах поведения. В последние десятилетия получены принципиально новые данные о роли *медиаторов* (*нейротрансмиттеров*) мозга в регуляции поведения, эмоциональности, физиологических функций. Медиатор (нейротрансмиттер) — вещество, передающее нервный импульс с одной нервной клетки на другую. Отделы нервной системы человека, выполняющие специфические функции, используют в качестве нейротрансмиттеров разные вещества. Широкие перспективы, открывшиеся для понимания механизмов регуляции поведения и эмоционального состояния и возможностей влиять на них, поставили медиаторы в центре внимания исследователей мозга.

В то же время генетический контроль синтеза и разрушения медиаторов и его роль в генетической детерминации поведения изучены крайне слабо, несмотря на очевидность того, что путь от гена к такому признаку, как различные формы поведения, должен включать генетический контроль медиаторов, регулирующих эти формы поведения. Показано, что генетическая регуляция медиаторных систем мозга является существенным элементом регуляции поведения как в норме, так и патологических его форм. Установлено, что селекция высших животных по поведенческим признакам фактически является селекцией на определенную функциональную активность медиаторных систем мозга, участвующих в регуляции данного вида поведения. Так, селекция на низкую агрессивность по отношению к человеку сопровождается повышением уровня и изменением метаболизма «классического» медиатора мозга *серотонина*, играющего роль ингибитора в регуляции ряда видов агрессивного поведения. Существенно, что сходные изменения в метаболизме серотонина при селекции на *доместикационный* тип поведения обнаружены у представителей разных родов животных, таких как серебристо-черные лисицы и крысы-пасюки. Следовательно, селекция на низкую агрессивность ведет к наследственно закрепляемой перестройке серотониновой системы мозга, проявляющейся в усилении и накоплении этого ингибирующего агрессивность признака. Эта перестройка, по-видимому, является одной из основ изменения поведения животного и наследственно закрепляемого превращения в совершенно новый тип, характеризующийся поведением, не свойственным его дикому сородичу [Д.К. Беляев, 1968].

Основными элементами, через которые осуществляется генетический контроль функционального состояния медиаторных систем мозга, для небелковых медиаторов являются ключевые ферменты их метаболизма. Для серотониновой системы мозга таким ферментом является *триптофангидроксилаза*, активность которого контролируется одним геном. Активность триптофангидроксилазы в стволе мозга, например, мышей

коррелирует с внутривидовой агрессивностью самцов и некоторыми физиологическими процессами, в регуляции которых принимает участие серотонин. К ним относятся устойчивость мышей различных линий к охлаждению и такой показатель стрессорной реактивности, как интенсивность образования у мышей разных линий язв желудка, вызванных эмоциональным стрессом.

Генетические исследования говорят в пользу прямой связи на молекулярном уровне между генами и специфичным человеческим поведением. Это прослежено на примере многих семей. Известный пример, когда изучение одной голландской семьи, за которой числились многие случаи агрессии, вывело на гены, управляющие выработкой ферментов *моноаминоксидаз*, или *МАО*. Исследование на мышах показало, что аналогичный дефект в генах, управляющих синтезом *МАО*, вел к крайней агрессивности.

Становится очевидным, что углубленные исследования генетико-биологических основ поведения неизбежно приведут к возможностям управления им, в том числе и с использованием ДНК-технологий. Практически все предсказываемые возможности, связанные с развитием генной инженерии, мы куда вероятнее и куда быстрее сможем осуществить посредством *нейрофармакологии*. И нам предстоят большие демографические сдвиги популяций, которым станут доступны новые биомедицинские ДНК-технологии, изменяющие не только распределения полов и возрастов, но и качество жизни существенных групп населения.

Влияние факторов внешней среды на проявление различных признаков, контролируемых системами, состоящими из многих генов, можно проиллюстрировать множеством различных примеров. Так, американский генетик Р. Левонтин отмечает, что даже мыши, выведенные генетически идентичными, по-разному реагируют на яд в окружающей среде и что отпечатки пальцев идентичных близнецов никогда не совпадают. Есть такой вид горных растений, у которых внешний вид полностью меняется в зависимости от высоты, на которой они растут. Хорошо известно, что младенцы, независимо от генотипа, сильно отличаются физически и умственно в зависимости от поведения матери в период беременности — пьет ли она, принимает наркотики, достаточно ли хорошо питается и т.д. То есть *взаимодействие индивида со средой начинается задолго до рождения; свойства, которые мы привыкли относить к природным, являются, следовательно, продуктом сложного взаимодействия генетических факторов и среды.*

В то же время это не отменяет биологической природы человека. Под влиянием еды может меняться средний рост, но не может рост человека превысить некоторый верхний предел или оказаться меньше нижнего и не может средний рост женщин оказаться больше среднего роста мужчин. Эти параметры задаются природой.

Знать степень наследуемости конкретной характеристики очень важно, если она существенна. Например, у индивидуумов с низкой оценкой *коэффициента интеллекта (IQ)* такая оценка часто зависит не от природных генетических причин (отбор по этому признаку в популяции уже прошел), а от влияния экологической, экономической, социальной и культурной среды. То есть имеется надежда на возможность сдвинуть средние значения этого показателя, сочетая контроль питания, воспитания и социальной политики.

Аргументы о том, что генотип не всегда определяет фенотип, относятся ко всем видам. Другого рода доводы против видоспецифичной природы человека применимы почти исключительно только к нему: люди суть культурные животные, которые могут изменять свое поведение путем самообучения и передавать обретенные знания и умения следующим поколениям не генетическим путем. Это значит, что пределы изменения и модификации поведения человека куда больше, чем у любого другого вида.

В популярной печати пишут о «генах» что угодно, от рака груди до агрессивности, и это дает читателю ложное ощущение конечного биологического детерминизма; тут полезно было бы напомнить, что культура и социальные конструкции продолжают играть в нашей жизни важную роль. Однако оценка наследуемости коэффициента интеллекта *IQ* в 40–50% уже содержит в себе оценку влияния культуры на *IQ* и подразумевает, что, даже если принять в расчет культуру, все равно останется еще существенный наследуемый компонент.

Аргумент, что человеческой природы не существует, поскольку люди — культурные животные и способны обучаться, в корне неверен. Ни один серьезный мыслитель никогда не отрицал, что люди суть культурные создания или что они могут с помощью самообучения, образования и социальных институтов формировать свой образ жизни. Аристотель отмечал, что человеческая природа не приводит нас автоматически к нашим зрелым формам так, как вырастает желудь на дубе. Процветание человека зависит от тех достоинств, которые человек должен приобретать осознанно. Такая вариабельность индивидуального развития отражается в вариабельности представлений о справедливости, несмотря на то что «природной» справедливости не существует, «все нормы справедливости изменчивы». Тем не менее нужно, чтобы кто-то основывал города, писал законы для этих городов, основанные на представлениях о справедливости, соответствующих имеющимся условиям. Аристотель замечает, что хотя «правая рука обычно сильнее левой, но любой человек может научиться одинаково действовать обеими руками»: воздействие культуры может преодолеть природу. В системе Аристотеля достаточно места для того, что мы сегодня называем культурными вариациями и историческим развитием.

Другое важное положение о человеческой природе, как считал Гегель, это то, что *борьба за общественное признание есть чисто человеческое явление — даже в каком-то смысле центральное, определяющее суть человека*. Но под человеческой жаждой признания, как сейчас выяснено, кроется биологическая основа, которая наблюдается и у многих других видов животных. Представители многих видов выстраиваются в иерархию подчинения. У приматов (родственников человека, таких как гориллы и, особенно, шимпанзе) борьба за статус в иерархии подчинения очень напоминает человеческую. Самцы-шимпанзе образуют коалиции, интригуют друг против друга, друг друга предают и очевидным образом испытывают эмоции, весьма напоминающие гордость и гнев, когда их ранг в колонии признается или не признается собратьями.

Конечно, человеческая борьба за признание сложнее, чем у животных. Люди, обладающие умом, интеллектом, памятью, способностью к обучению, даром абстрактного мышления, могут направить борьбу за признание на созидательную деятельность — идеологию, религию, должности, премии и другие символы почета, остальные — действовать по рецепту Герострата. Генетики доказывают, что *жажда общественного признания, уважения, власти* связана с уровнем серотонина в мозгу. Было показано, что у обезьян, находящихся в самом низу лестницы подчинения, уровень серотонина низок, и наоборот, когда самец обезьяны добывает себе статус самца-альфа, он испытывает «серотониновый прилив» [Фукуяма, 2004; Глазко, Чешко, 2007].

Социальный или Маккиавеллистский интеллект — это та часть когнитивных способностей человека, которая обеспечивает его индивидуальную и групповую социализацию, важнейший фактор антропогенеза. Социальный интеллект, судя по современным нейropsихологическим представлениям, состоит из двух параллельных процессуальных ядер — эмоционального и когнитивного [Shamay—Tsoory, 2011]. Он был, по всей видимости, системной адаптацией, инициировавшей или поддерживающей шлейф вторичных адаптаций, которые первоначально выполняли роль усилителя и модератора его прогностической функции и впоследствии все более автономизировались от своего биосоциального субстрата. Эмпирическим аргументом в пользу подобного предположения могут служить недавние данные психологических исследований — чтение беллетристических произведений улучшает результаты тестов на когнитивную способность адекватно оценивать и интерпретировать индивидуальные эмоциональные состояния и межличностные социальные отношения [Kidd, Castano, 2013].

Этот вывод выглядит тривиальным только для гуманитарного знания и обыденного сознания. В философском исследовании он выступает как исходная посылка, осознаваемая, принимаемая в неявном виде или неосознанная, но, тем не менее, неременное условие достоверности логи-

ческих построений. Это, так сказать, тот тест, который проверяет достоверность логических построений анализа феномена сознания и познания. «Мы домысливаем ментальные состояния, т.е. желания, убеждения, образы и т.п. у других людей, а также у иных физических объектов; непосредственно они не даны. Это домысливание имеет универсальный характер для определенного типа ситуаций», — пишет российский философ В.В. Васильев (2009). Парадокс в том и состоит, что такое «домысливание» исходно способно опираться исключительно на интроспективное сравнение с собственными ментально-эмоциональными состояниями — актуальными или потенциальными. Иными словами, человек проецирует собственный спиритуалистский (в гуманитарном знании) или ментальный (в естественных науках) опыт на окружающий мир. Чтобы адаптироваться к этому миру, надо предварительно ему уподобиться.

Для собственно естественных наук эта же посылка представляет собой одну из первых технологий, позволяющих приблизиться к объективизации отражения эволюционной роли искусства (по крайней мере, отдельных его аспектов) в теории адаптиогенеза гоминид.

Если этот логико-эмпирический конструкт не будет поставлен под сомнение последующими исследованиями, намечаются пока крайне туманные перспективы обнаружения той бифуркационной точки в антропогенезе, которая намечает обособление комплекса интроверсивно-социальных (религия и искусство) и экстраверсивно-экологических (наука и технология) адаптаций и инноваций.

Науки о жизни расширили знания о природе человека и его поведении, и потому необходимо пересмотреть некоторые наши знания о ней. Тогда станет ясно, какие из них устояли, какие опровергнуты, а какие необходимо модифицировать в свете того, что нам уже известно. Более важным является попытка выделить свойства, уникальные для вида, поскольку они играют ключевую роль в понимании вопроса о видовых особенностях поведения человека.

Многое из того, что узнали о человеческой природе, касается видоспецифичных способов, с помощью которых мы воспринимаем и усваиваем информацию и интеллектуально развиваемся. У людей свой способ познания, отличающийся от способов других высокоразвитых млекопитающих, таких, например, как обезьяны и дельфины. Человеческий способ позволяет накапливать новые знания, но не бесконечно. Очевидным примером является язык. Реальные человеческие языки условны, и одна из величайших пропастей, разделяющих группы людей, есть взаимное непонимание различных языков. С другой стороны, как мы видим, способность усваивать языки универсальна и определяется некоторыми биологическими свойствами человеческого мозга. Предполагают, что существуют «глубинные структуры», лежащие в основе синтаксиса всех язы-

ков. Идея о том, что эти глубинные структуры являются врожденными, генетически запрограммированными аспектами развития мозга, сегодня широко принята. Гены, а не культура гарантируют появление способности к изучению языка в какой-то момент первого года жизни ребенка и уменьшение этих способностей, когда ребенок достигает отрочества [Фукуяма, 2004; Глазко, Чешко, 2007].

В формировании человеческой сущности переплетается действие нескольких параллельных, но взаимозависимых факторов — генов, культуры и разума.

К ключевым для течения антропогенеза адаптивно значимым поведенческим стереотипам и модусам, эволюционный генезис которых берет начало в культурных инновациях, распространяемых в популяции путем социокультурного наследования, по мнению ряда экспертов, относятся следующие [Laland et al., 2010]:

- обучение — передача и распространение социально значимого опыта и элементов культуры и способностей к обучению и способам ее реализации (стратегий);
- способ питания, в частности употребление в пищу молока в течение всего жизненного цикла;
- эволюция языка и символических систем кодирования и коммуникации;
- способность к интеллектуальной деятельности, личностные особенности;
- поддерживаемое культурой предпочтительное использование правой или левой руки и связанная с этим функциональная асимметрия нервной системы;
- развитие кооперации и альтруизма как поведенческих модусов и форм деятельности; формирование маркеров социальной и этнической идентификации и самоидентификации;
- система формирования эмоций, способствующих поддержанию и соблюдению норм социальной жизни;
- репертуар допустимых и недопустимых норм и стереотипов сексуально-репродуктивного поведения, в частности отношения к инцесту, бисексуальному, асексуальному, гомосексуальному и гетеросексуальному способам его (поведения) реализации; система половых предпочтений, направляющих или ограничивающих границы образования сексуальных пар и господствующий вектор полового подбора (подробнее см.: [Бутовская, 2013]);
- поведенческие нормы, определяющие частоту и экспрессию признаков инфантицида и/или родительской заботы.

Во всех перечисленных сферах генетические (биологические) признаки и детерминанты выступают одновременно и в качестве предпосылок ге-

незиса и результата эволюции соответствующих культурных или поведенческих элементов.

Согласно палеогенетическим данным, индуцированные культурой изменения генетических частот стали ощутимыми в период так называемой неолитической революции — перехода к земледелию и скотоводству [O'Brien, Laland, 2012].

В результате неолитической революции в эволюционных механизмах антропогенеза возобладали два новых фундаментальных атрибута — «сознательные» (техно-рационалистические) составляющие адаптиогенеза и адаптивно значимое увеличение размеров социальных общностей за счет не только демографического роста, но и межгрупповых интеграционных процессов [Гринин, 2007]. Создание агробиоценоза как новой экологической ниши *Homo sapiens* инициировало изменения в ходе социокультурогенеза, создав предпосылки для формирования ранних форм государства (политиогенез). Это было системной адаптацией, значение которой состояло в обеспечении координации индивидуальных форм деятельности в условиях технологически детерминированной более выраженной корреляции размеров социальной группы и групповой адаптивности. Кумулятивное действие технологического и социокультурного эволюционных факторов запустило цикл тройной спирали, в которой инициальное изменение поведенческого комплекса создало новую структуру и новый вектор эволюции межвидовых контактов и новую физическую среду обитания человека, что, в свою очередь, изменило векторы селективного давления по отношению к отдельным генам. Сформировавшиеся биологические адаптации потребовали включения в технологическую схему ведения сельского хозяйства новых элементов. Формирование новой техно-культурно-экологической ниши *Homo sapiens* стало самоподдерживающимся процессом.

Ту же самую схему можно интерпретировать и в ином аспекте — как механизм триггерного переключения векторов адаптивной эволюции из сферы культурогенеза в сферу биогенеза или техногенеза. Культурная инновация создает новую экологическую нишу, которая формирует провокационный фон для генерации и фиксации вторичных культурных трансформаций. Если последние оказываются недостаточно эффективными, включается цикл поиска технологических решений, модифицирующих среду обитания. В настоящее время достаточно обоснованным и аргументированным представляется [Cheshko et al., 2015] индукция культуро- и техногенезом фиксации в генофонде человека генетических детерминантов — моногенных или олигогенных — нескольких фенотипических признаков: постоянной лактазной и амилазной активности в онтогенезе человека, серповидно-клеточной анемии и других патологий, отсутствия алкогольной зависимости, гомосексуальной поведенческой

активности мужского пола, интенции к снижению эмоциональной напряженности в межличностных конфликтах, развития речевого центра и пр. Доказательства такой культурной индукции селекции генетических детерминант в человеческих популяциях получены в последние два десятилетия, и их число умножается с каждым днем.

В общем, можно предположить только два эволюционных механизма, посредством которых культурные инновации влекут распространение генетических инадаптаций в человеческих популяциях: приобретение патологическими признаками группового адаптивного значения вследствие индуцированных культурой изменений образа жизни (серповидно-клеточная анемия и другие гематопатии в районах тропического орошаемого земледелия — как следствие роста заболеваемости малярией) и превращение высокоадаптивных биологических признаков в патологические по тем же самым причинам (болезнь Крона, псориаз, являющиеся следствием гиперреактивности иммунной системы). Но из всего приведенного списка только социальные или биологические корни интеллекта, агрессии и сексуальности в общественном мнении вызывают жесткие дискуссии и опасения и только они считаются крайне опасными предметами для технологического регулирования, даже с благими намерениями.

Но тогда возникает необходимость учета современных представлений и эмпирических данных о связи особенностей ментальности восточных и западных культур с системными технологическими инновациями и генетической эволюцией. Одно из важнейших социально-психологических отличий западной и восточной цивилизаций состоит в доминировании аналитического рационализма и индивидуализма в западной и холизма и коммунитаризма (коллективизма) — в восточной (китайской, японской) ментальности.

Феноменологически восточное мышление ориентируется на исследование отношений и зависимостей между объектами реальности, что более соответствует модулю социального интеллекта. В западном мышлении доминирует субстанциональный подход, концентрирующийся на поисках специфических «сущностей» тех же самых объектов. Эти особенности четко диагностируются в ходе психологических тестов. В частности, разбиение некоторой совокупности объектов (например, кролик, собака, морковка) на отдельные группы носители западной культуры производят преимущественно по критерию сходства между ними (кролик, собака), а восточной — по наличию связей между ними (кролик, морковка).

Как показывают данные международной группы исследователей, те же закономерности наблюдаются и внутри каждого типа культуры. «Холистический» тип ответов доминирует в районах, где основной зерновой культурой является рис, что, учитывая сказанное выше, выглядит вполне объяснимым. «Аналитический» тип ответов доминирует у выходцев

из тех районов Китая, где при близости этнического состава населения в качестве таковой использовалась пшеница. В этом случае минимально необходимая степень социальной координации усилий и, соответственно, минимальный размер эффективно функционирующего (конкурентоспособного) «производственного коллектива» был значительно меньшим [Nisbett et al., 2001; Heinrich, 2014]. Вероятно, меньше внимание и усилия могли тратиться и на поддержание агроэкологической системы выращивания пшеницы в сравнении с рисом.

Итак, идея, согласно которой между социальной структурой и когнитивными процессами, протекающими в психике, существует взаимное сопряжение, получает довольно широкое эмпирическое подтверждение. Следствием этого становится возникновение *социокогнитивных гомеостатических систем* [Nisbett et al., 2001]. Базисный параметр и одновременно адаптивно-эволюционную функцию после них в настоящем исследовании мы обозначим термином *техногуманитарный баланс*.

На первоначальный импульс генно-культурной и технокультурной коэволюции, инициированный, в свою очередь, революцией неолитической (комплексной — культурно-технологической), наслаивались новые технокультурные инновации. Одна из линий адаптивной дивергенции социокультурных и рационалистических адаптаций вела к возникновению техногенной цивилизации. Эта системная адаптация в рамках эволюционно-психологической парадигмы характеризуется несколькими базисными ценностными приоритетами (интенциями) [Henrich et al, 2010]:

- 1) западным (аналитико-холистическим) типом ментальности — *Western*;
- 2) высоким социальным статусом теоретического и профессионального образования — *Educational*;
- 3) индустриализмом — *Industrial*;
- 4) высоким уровнем индивидуального богатства населения — *Rich*;
- 5) демократическим политическим устройством — *Democratic*.

Культура, обладающая доминированием всех перечисленных социо-психологических интенций (*WEIRD* — по первым буквам английских имен указанных атрибутов), составляет ничтожно малую долю исходного пула культурных типов, действительно является *странной, редкой (weird)*. Но по мере роста своего влияния она становится обладательницей достаточно высокой контагиозной составляющей социокультурного наследования. Иными словами, этот культурный тип способен распространяться на другие культуры в результате «заражения при контакте» с иными типами социумов. В высокой «инфекционности» техногенной цивилизации присутствует, однако, и экономико-политическое и военное принуждение, поскольку она самим фактом своего превосходства принуждает конкурирующие социокультурные типы «принять правила игры», ей свойственные.

Генетические основы познавательных способностей и интеллекта

И Платон, и Аристотель считали, что разум не есть просто совокупность когнитивных способностей, данных нам при рождении, а представляет собой в некотором роде бесконечное стремление к знаниям и мудрости, которое надо культивировать у молодых посредством образования, а в зрелом возрасте — накоплением жизненного опыта. Человеческий разум не диктует единый набор приемов или наилучший образ жизни. Но он дает людям возможность вдаваться в философские рассуждения о природе справедливости или о наилучшем образе жизни, основанном как на их неизменной природе, так и на изменяющейся среде. Открытый характер человеческого стремления к знаниям полностью совместим с концепцией человеческой природы — и действительно, оно составляет для классических философов критически важную часть того, что они понимали под человеческой природой [Фукуяма, 2004; Глазко, Чешко, 2007].

Но, кроме Ratio, в человеческой природе, по мнению античных философов, огромную роль играл Egos (категория, отнюдь не равнозначная просто сексуальности). Современная геномика и антропология с этим, в общем-то, соглашаются.

Результаты исследований в области генетики поведения показывают выраженные корреляции в поведении у однояйцовых (генетически идентичных) близнецов, несмотря на их воспитание у разных родителей или в разных экономико-социальных средах. Главная проблема связана с тем, что считать иной средой. Но, несмотря на это, во многих случаях у разлученных близнецов сохраняется много общих внешних обстоятельств и невозможно разделить естественное и культурное влияние. Среди «общих обстоятельств» можно назвать чрево матери, оказывающее сильнейшее влияние на процесс превращения генотипа в фенотип, или в человека. Однояйцовые близнецы по необходимости созревают в одном и том же чреве, но если бы те же зародыши вырастить в разных утробах, результат мог бы быть совершенно другим, если мать одного из них плохо питается, пьет или принимает наркотики.

Второй и менее точный способ выяснения естественных источников поведения — это проведение сравнительно-культурологических наблюдений над конкретной чертой или видом деятельности. Сейчас имеется весьма богатый этнографический материал по целому ряду различных человеческих обществ, как существующих ныне, так и известных лишь по археологии или истории. Если некоторое свойство проявляется практически во всех известных обществах, мы можем высказать уверенное, хотя и продиктованное обстоятельствами суждение, что оно связано

не со средой, а с генами. Этот подход обычно применяется в *этологии* — сравнительном изучении поведения животных.

Вся трудность в том, что в поведении людей куда больше разнообразия, чем в поведении животных, поскольку люди в намного большей степени являются существами культуры; их учат поведению законы, обычаи, традиции и другие влияния, социально сконструированные, а не природные. Определенные культурные черты, обычные на Западе, например сексуальная ревность или нормы половой жизни для девушек-подростков, не приняты в некоторых экзотических или незападных культурах.

Мы знаем, что человеческие популяции генетически неоднородны. Сейчас есть возможность изучать различия в распределении различных вариантов (аллелей) одного и того же гена и сопоставлять их с этническими, социальными и т.п. различиями. Например, известно, что разные группы населения в мире имеют разное распределение групп крови. Лишь около 40% европейцев имеют кровь группы 0, в то время как у американских индейцев почти исключительно встречается только эта группа крови. Аллели, связанные с серповидно-клеточной анемией, чаще встречаются у афроамериканцев, чем у белых. Специалист по популяционной генетике Луиджи Лука Кавалли-Сфорца реконструировал историю миграций ранних людей из Африки в другие части света на основе распределения митохондриальной ДНК, связал эти данные с развитием языков и создал историю эволюции каждого языка.

Декартовская догадка о том, что существуют врожденные формы человеческого познания, получила за последние годы огромное количество эмпирических подтверждений, но одновременно встретила и сильное сопротивление. Связано это с тем, что многие считают мозг чем-то вроде универсального компьютера, который может принимать и обрабатывать сенсорные данные, ему передаваемые. Но его память в момент рождения, по сути, пуста.

Аналогично многие исследователи в области искусственного интеллекта предполагают, что мозг есть просто органический компьютер большой сложности, который можно идентифицировать внешними характеристиками. Если машина может решать познавательные задачи, такие как поддержание беседы, так, чтобы внешне это нельзя было отличить от тех же действий, совершаемых человеком, то внутренне она тоже от человека отличаться не будет. Почему это должно быть адекватным тестом ментальности человека — непонятно, поскольку машина точно не будет иметь никакого субъективного осознания своих действий, как и связанных с ними чувств. Пока трудно представить, как они обретут человеческие эмоции. Вероятность того, что это произойдет, кажется весьма далекой. Но если это будет реализовано, то будет иметь серьезные последствия для концепции человеческого достоинства, поскольку будет

логически доказано, что люди суть не более чем сложные машины. Проблема здесь не только в том, что никто еще не понял, что представляют собой эмоции (как и сознание) онтологически; никто пока не понял, какую роль они сыграли в развитии разума.

Смысл обсуждения вопросов интеллекта и генетики не в том, чтобы выступить на стороне одной теории интеллекта против другой или за какую-то конкретную оценку наследуемости интеллекта. Наблюдения наводят на мысль, что интеллект представляет собой действие не единственного фактора, а проявление ряда тесно связанных способностей. Здравый смысл исследователя подсказывает, что дальнейшее изучение интеллекта на молекулярном уровне не приведет к радикальным расовым различиям в развитии интеллекта. Слишком кратко с точки зрения эволюции время, прошедшее после разделения рас, а степень генетических различий между расами при исследовании свойств, которые можно измерить (например, распределение групп крови), слишком мала, чтобы предполагать, будто в этом отношении могут существовать сильные групповые различия.

Вопрос здесь иной. Если даже не произойдет новых прорывов в генной инженерии, которые позволят манипулировать интеллектом, само накопление знаний о генах и поведении будет иметь политические последствия. Они могут быть различны. Молекулярная биология может снять с генов ответственность за важные различия между личностями и социальными общностями, как научные исследования размеров черепа у различных рас дискредитировали претензии расистских теорий на научность в начале XX в. С другой стороны, науки о жизни могут сообщить нам новости, которые общество предпочло бы не слышать. Многие желали бы просто давлением общественного мнения подавить все утверждения о связи генов и интеллекта как расистские по существу и относящиеся к лженауке. Но само развитие науки не позволит пойти по этому пути. Накопление знаний о молекулярных воздействиях на память позволит в будущем дать куда более точные оценки наследуемости интеллекта. Способы отображения мозга, такие как позитронная томография, функционально-резонансное отображение и магнитно-резонансная спектроскопия, позволят выделять те или иные структуры мозга, вовлекаемые в различные психофизиологические процессы, динамически отображать ток крови и включение нейронов, сопоставляя их результаты с различными видами умственной деятельности.

По-видимому, когда-нибудь можно будет достичь некоторой определенности в вопросе о том, отражает ли величина IQ развитие интеллекта в целом или является суммой специфических интеллектуальных способностей.

Тот факт, что плохая наука в прошлом использовалась для плохих целей, не дает нам гарантии, что в будущем хорошая наука будет слу-

жить только тем целям, которые мы на тот момент считаем хорошими. Распространяющееся и усиливающееся использование новых достижений нейрофармакологии, например таких препаратов, как риталин и прозак, показывает, насколько охотно общество готово применять новые технологии для изменения самого себя.

Это пугает. Если одна из ключевых составляющих нашей природы — нечто такое, на чем мы основываем понятие нашего достоинства, — связана с гаммой нормальных эмоций, общих для всех людей, то общество уже пытается сузить их диапазон ради утилитарных целей: здоровья и удобства. Психотропные средства не меняют клеток зародышевых путей и не дают наследуемых эффектов, что сможет когда-нибудь сделать генная инженерия. Но их существование уже поднимает важные вопросы о значении человеческого достоинства и человеческой природы и является предвестником будущих проблем.

Человеческая природа — это то, что обеспечивает способность овладевать социальными навыками, необходимыми для жизни в обществе, и служит основой философских дискуссий о правах, справедливости и морали. В общем, при биотехнологической революции главное — это эмоциональные основы человеческого нравственного чувства, бывшие неизменными с момента появления человека. Может быть, мы обречены выйти за пределы этого нравственного чувства. Но если эволюция человечества пойдет по этому пути, то мы должны решительно принять и понять последствия отказа от природных стандартов добра и зла и признать, как признавал Ницше, что это может привести нас в страну, куда мало кто из нас хотел бы попасть [Фукуяма, 2004; Глазко, Чешко, 2007].

Гены и сексуальность

Мало кто станет отрицать, что сексуальность имеет серьезные биологические корни, и с утверждением, что разница между мужчиной и женщиной определяется биологией, а не социальным влиянием, куда труднее спорить, чем с аналогичным суждением о расовых различиях. В конце концов расовые и этнические группы людей (границы между которыми зачастую четко неопределимы) развились только за последние несколько тысяч или десятков тысяч лет, а половые различия существуют уже около сотен миллионов лет, т.е. они куда старше человека. Мужчины и женщины различаются психологически, ментально, генетически (как известно, у женщин две хромосомы X, а у мужчин — пара XY) и неврологически.

Важным направлением в сегодняшнем феминизме является мнение, что все эти половые различия ограничиваются только телесностью, а психика мужчины и женщины по сути одинакова, хотя, как сейчас установлено, это не так. *Для социологов все половые различия становятся различиями гендерными, т.е. разницей в способе социализации мальчиков*

и девочек на ранних этапах онтогенеза. Но очень маловероятно, что это утверждение верно целиком и полностью, и существенный раздел эволюционной биологии последние лет 20 подтверждает, что психика мужчин и женщин сформировалась под воздействием разных требований к эволюционной адаптации [Фукуяма, 2004; Глазко, Чешко, 2007].

Точкой эволюционного скачка, т.е. зарождения внебиологического — социокультурного наследования, возможно, послужил половой отбор. В условиях развитой социальной организации гомининов и благоприятной, богатой ресурсами экологической ниши наиболее жесткая конкуренция могла сложиться в сфере возможности вступать в репродуктивно-сексуальный контакт с особью противоположного пола [Miller, 2001; Савельев, 2012]. Средством достижения в этом случае становятся коммуникативные способности, а морфологической основой адаптивного преимущества — развитие переднего мозга, который еще у амфибий и рептилий обеспечивал гормонально-эмоциональные основы полового поведения, а затем послужил морфологическим фундаментом для неокортекса (новой коры) головного мозга гоминид. Функцией последнего, как известно, и являются сложные формы социального поведения и мышление.

Несмотря на определенную долю эпатажа, эта гипотеза вполне логично объясняет общее направление ранних стадий социокультурноантропогенеза: с ухудшением экологической ситуации (заменой африканских тропических лесов саваннами вследствие иссушения климата) установилась социокультурная адаптация, основанная как на новой диете, так и на новом распределении социальных ролей между полами.

Именно это и стало пусковым процессом формирования комплекса социокультурных адаптаций, приведших впоследствии к неолитической революции. Но только роль пускового механизма сыграла не собственно сексуальность как системная адаптация, а коэволюционная связка биологического адаптивного признака и социокультурной установки (эрос).

Эту точку зрения отстаивает современный немецкий философ Фердинанд Феллманн. В его понимании [Fellmann, 2016] эротика считается центральным фактором становления человеческого сознания. Уникальная способность к познавательной деятельности и социальному обучению вытекает из уникальной способности устанавливать сложные коммуникативные структуры внутри социальной группы. Именно индивидуализация и персонализация отношений между индивидуумами разного пола (окультуривание сексуальности), по его утверждению, способствуют становлению морального сознания, зачатки которого, впрочем, вырастают их биологической эволюции социальных животных.

Самое интересное, с нашей точки зрения, — конвергенция траекторий теоретических построений биологической и философской антропологии.

Это, скорее всего, не случайно. Причина заключается в обоюдно (естествоиспытателями и гуманитариями) нащупанной общей эволюционной закономерности.

Мы имеем основание предполагать, что культура «увлекает за собой» уже предсуществующие в популяции генотипы, образуя бинарную адаптивную связку. Одним из наиболее впечатляющих, хотя не иллюстрацией, является «гаплотип Чингисхана». Международная группа исследователей (Британия, Италия, Китай и др.) опубликовала в 2003 г. данные анализа мононуклеотидных замен в Y-хромосоме лиц, живущих на обширной территории Азии, некогда входившей в состав монгольской империи Чингисидов. Согласно полученным результатам не менее 8% (ок. 16 млн человек) населения этих территорий имеет гаплотип, восходящий к очень небольшой группе родоначальников мужского пола. Авторы исследования идентифицировали эту группу как самого Чингисхана и его ближайших родственников, хотя эта атрибуция, естественно, условная.

С точки зрения классического неодарвинизма, этот феномен мог бы быть объяснен действием генетического дрейфа. В соответствии с этой объяснительной моделью ни личностные особенности Чингисхана, ни особенности социума не лежат в основе возможности его столь значительного вклада в генофонд последующих поколений. Но, во-первых, мы имеем дело не с чистыми популяционными волнами численности, а с геополитически и социоэкологически детерминированным процессом длительного вращивания исходной популяции в другие с образованием новой мегапопуляции (миксодем), занимающей огромный ареал и характеризующейся весьма сложной генетической структурой. «Потомки Чингисхана» имели в ней репродуктивное преимущество, детерминированное чем дальше, тем больше не столько генетически, сколько социально, или культурно. Поэтому говорить об эффекте основателя, как и об сверхадаптивности генома Чингисхана, по меньшей мере, некорректно.

Во-вторых, прародителю (прародителям) этого гаплотипа были, очевидно, присущи некие характеристики, личностные особенности, состоящие в способности подчинять своему влиянию массы других людей, толпу (харизма), и способность выдерживать сильнейший физический и эмоциональный стресс ради достижения поставленной цели (пассионарность). Эти признаки уже нельзя считать безразличными для селективного давления.

Наша интерпретация сводится к тому, что некоторые личностные особенности прародителя этого гаплотипа (генетически, эпигенетически и социально обусловленные) оказались в коэволюционной связке с присущей монголам социальной организацией. Последняя послужила так называемым социальным лифтом, благодаря которому обладатели этого гаплотипа получили невероятное с точки зрения классической популяци-

онной теории адаптивное превосходство, это совершенно не соответствующее чисто биологической адаптивности индивидуума, без учета генно-культурного коэволюционного тандема. Гаплотип Чингисхана является ярким примером социального отбора, к тому же сейчас уже не уникальным [Chuan-Chao Wang, Hui Li, 2014].

Автономизация социокультурной составляющей эволюции и онтогенеза человека от биологического фундамента (при сохранении своей адаптивной значимости культуры в целом) может происходить спонтанно. В этом случае иницирующим или катализирующим фактором является амбивалентность роли биологических адаптаций по отношению к адаптивному эффекту конкретных социокультурных адаптаций. Так, например, статистическая норма соотношения социального (эмоционального по преимуществу) и рационалистического интеллекта у женского пола, по последним данным, несколько сдвинута в сторону социальной и эмоциональной составляющих, а у мужского — рациональной. Физиологической основой этой закономерности оказывается сдвиг баланса между нейронными связями внутри полушарий головного мозга и между ними.

Межполушарные связи облегчают эмоциональное интуитивно-образное понимание поведения членов многочисленных социальных групп, но затрудняет основанные на четко однозначном логическом моделировании поведенческие акты типа цель — намерение — действие. Первоначальное распределение социальных ролей гоминид между мужским (охота и защита) и женским («хранители очага») полами была связана, по всей видимости, именно с этим. Однако по мере усложнения социальной структуры, дифференциации отношений между отдельными членами социума вследствие роста его размеров адаптивное значение социального интеллекта возрастало. А следовательно, соотношение относительного вклада мужского и женского полов в выполнении функций производства, защиты и управления стало изменяться в противоположную сторону. Социокультурная трансмутация, о которой говорилось выше (освобождение от диктата биологически детерминированного распределения социальных ролей), в сочетании с технологической возможностью разделения сексуальной и репродуктивной функций этот процесс инициировала и поддерживала.

Благодаря именно этой установке, материализовавшейся в поиске технологических инструментов преобразования природы, человечество существенным образом уменьшило величину опасности, происходящей от действия природных катаклизмов и непредвиденного действия природных сил, находящихся вне социокультурной сферы среды обитания, контролируемой человечеством.

По вопросу о причинах гомосексуальности многие люди занимают противоположную позицию: сексуальная ориентация не есть вопрос ин-

дивидуального выбора или социальных условий; она случайным образом закладывается в человека при рождении.

Считается, что головной мозг различных животных, в том числе и людей, сексуализируется в предродовой стадии под влиянием определенного уровня различных половых гормонов, набор которых генетически детерминирован. Исследования на мышах привели к гипотезе, что мужская гомосексуальность вызывается недостаточным предродовым воздействием мужского полового гормона — тестостерона.

Нейроанатомические исследования показали, что, действительно, существуют различия в структуре трех частей мозга между гетеро- и гомосексуальными мужчинами; и согласно данным, различия особенно проявляются в гипоталамусе. Фактическая генетическая связь между определенным участком X-хромосомы и гомосексуальностью была описана с помощью анализа родословной группы мужчин, признающих свою гомосексуальность, установлена статистически значимая корреляция между сексуальной ориентацией и определенными генетическими маркерами хромосомного участка *Xq28*.

Сторонники левых политических убеждений нападают на самую идею наследуемости интеллекта и криминального поведения, но многие из них привержены идее существования «гена гомосексуальности», потому что концепция генетической причинности как бы освобождает геев от моральной ответственности за свое состояние.

«Правые» спорят: гомосексуальность — это выбор образа жизни. Если не считать нескольких болезней, связанных с нарушением единственного гена, таких как хорей Гентингтона, гены никогда стопроцентно не определяют окончательное состояние человека, и нет причины думать, что существование гена гомосексуальности означает, будто культура, нормы, возможности и другие факторы в сексуальной ориентации не играют роли. Тот простой факт, что есть много бисексуальных личностей, указывает, что сексуальная ориентация весьма пластична.

Гендерная идентичность, как и природа, имеет свои пределы. Левшей можно переучить писать и есть правой рукой, но это всегда будет трудно и никогда они не будут ощущать этого «естественным». На самом деле гомосексуальность не отличается от интеллекта, криминальности или половой идентичности: это предрасположенность человека, частично определяемая наследственностью, а частично — социальной средой и личным выбором. Можно спорить относительно сравнительного значения генетических и социальных причин в каждом случае, но само существование генетических факторов делает суждения по этой теме крайне поляризованными, поскольку предполагает ограничения человеческого потенциала и действия морали.

Научное знание о причинах сексуальности неизбежно поведет к поиску технологий для управления этими причинами. Например, существование физиологических коррелятов генов гомосексуальности — внутриутробных андрогенов, нейроанатомических различий или генов гомосексуальности — предполагает возможность, что в один прекрасный день найдется «лечение» от гомосексуализма. Допустим, мы в XXI в. придем к хорошему пониманию генетики гомосексуальности и найдем для родителей способ резко снизить вероятность рождения ребенка-гея. При этом не обязательно предполагать наличие генной инженерии; это может быть просто таблетка, обеспечивающая должный уровень тестостерона в матке для маскулинизации мозга развивающегося зародыша. Допустим, что это лечение дешево, эффективно, не дает заметных побочных эффектов и может быть проведено в тайне врачебного кабинета. Допустим далее, что социальные нормы вполне примирились с гомосексуальностью. Сколько будущих матерей согласятся принять эту таблетку?

Очевидно ли, что род человеческий улучшится, если избавить его от гомосексуальности? А если это не очевидно, можем ли мы оставаться безразличными к факту такого выбора, если он совершается родителями, а не принуждающим государством [Фукуяма, 2004; Глазко, Чешко, 2007]?

В своем классическом исследовании Вернер Йегер (2001) в начале XX в. писал: «Любовь мужчины к мальчику или юноше была существенным историческим элементом в структуре раннегреческого аристократического общества, неразрывно связанным с его нравственными и сословными идеалами. Афинские поэты и законодатели, которые в Афинах упоминают или восхваляют его как нечто само собою разумеющееся, имеют особенно благородное происхождение, начиная с Солона, в чьих стихах любовь к мальчикам упоминается среди высших жизненных благ». Современный исследователь заявляет, что фундаментальные различия между сексуальными нравами в Древней Греции и нашем обществе делают сравнение двух культур затруднительным [Мондимер, 2002]. Тем самым подтверждается вывод, что независимо от биологической основы феномена гомосексуальности его распространение в конкретной человеческой популяции есть результат социокультурно наследуемой трансформации. Концепция культурного конструктивизма сексуального поведения и сексуальных ролей становится основой современной западной культуры. Ее исходным постулатом служит утверждение, что «сексуальное поведение определяется (или конструируется) той культурой, в которой живет человек» [Мондимер, с. 20]. Одновременно, и этот вывод вписывается в систему аргументов предлагаемой здесь концепции САСН и эволюционного риска, распространенность этого признака объясняется «захватыванием» его социокультурным наследованием и адаптивно значимо, так сказать, «по определению».

(«Сексуальная ориентация следует такому количеству биологических “правил”, что гомосексуальность не может считаться исключительно социальным “конструктом”. Все указывает на наличие биологической основы сексуальной ориентации» [Мондимор, 2002].

В эллинистической культуре прослеживается явное расхождение репродуктивных и сексуальных поведенческих стереотипов, констатированное историками культуры очень давно. Эта особенность на тот период не получила дальнейшего развития в силу естественных ограничений, связанных с биологическим компонентом. В эпоху Средневековья сочетание социально-экономических условий со специфической демографической ситуацией способствовало бинарной связке системных социокультурных адаптаций — института монашества и категорического неприятия сексуального поведения, не обеспечивающего осуществление репродуктивной функции. Как пишет современный исследователь, «любые сексуальные отношения, не ведущие к зачатию, считались незаконными и “противоестественными”! Постепенно различные отвергаемые формы полового акта получили общее определение “содомии”».

В современной западной культуре формируется аналогичный древнегреческому тренд генно-культурной коэволюции терпимости, подкрепленный, однако, новой конфигурацией техно-гуманитарного баланса — разделением единого сексуально-репродуктивного функционального комплекса на две независимые составляющие [Кон, 2001].

В некотором смысле эту обеспечиваемую технологией сексуальную революцию можно рассматривать как финальную стадию направляемой культурой эволюции сексуально-репродуктивного поведенческого комплекса. Основной тенденцией этого процесса оказывается перманентная автономизация программируемых культурой поведенческих моделей-стереотипов от однозначного соответствия генетико-биологическому субстрату — геному (набору генетических детерминантов) и фенотипу (множеству фенотипических признаков) *Homo sapiens*.

В частности, сексуально-репродуктивный эмоциональный комплекс является одним из трех несущих стержневых элементов протокультуры гоминид («Любовь и Голод правят миром», — Фридрих Шиллер, не упомянувший третий элемент — Власть). В ходе социокультурной трансформации он дивергирован в пять альтернативных культурных моделей [Лев-Старович, 1991]: платоническую, чувственную, интегральную, психофизическую, антагонистическую и негативистскую. Каждая из них по-своему строит конструкцию, обеспечивающую ассоциацию физиологической функции и эмоционального ответа, ее обеспечивающего.

Предполагаем, что в основе такой мультипликации поведенческих моделей лежит более сложная и пластичная в сравнении с генами система структурной и функциональной ассоциации отдельных самовоспроизво-

дящихся элементов культуры (мемов, культур-генов). Эта связь может строиться как чисто эмоциональная, осознаваемая или неосознанная, а может иметь вербально-логическую природу. В результате культурная составляющая, не теряя своей эволюционной преемственности с исходными биологическими адаптациями или дезадаптациями, теряет всякое формальное сходство с ней.

Трансмодульные генно-культурные и культурно-технологические взаимосвязи осуществляются по типу цепи частично перекрывающихся циклов прямых и обратных коадаптивных влияний. Именно этим объясняется, на наш взгляд, сложный и вследствие этого с трудом выявляемый рисунок таких зависимостей. Функциональные и адаптивные связи между социальными поведенческими актами индивидуума и генетическими факторами оказываются опосредованным социокультурным контекстом и инициируются или репрессируются эпигенетическими сигналами, в качестве которых выступают социальные репрезентации и культурные символы. Как свидетельствуют некоторые недавние данные, даже политические предпочтения, вероятно, обнаруживают корреляцию с наличием определенных генов, но только в условиях определенной коммуникативной структуры, в которую их носитель оказался включенным в определенный период онтогенеза [Settle et al., 2010]. Аналогичным образом экспрессия генов склонности к накоплению избыточной массы тела закономерно изменяется в зависимости от исторической эпохи, в которой «посчастливилось» жить человеку [Rosenquist et al., 2015].

Приведенные здесь эмпирические данные научных публикаций последних лет отобраны, признаем, относительно произвольно. Но они, безусловно, демонстрируют неадекватность редуccionистских теоретических интерпретаций, как генетико-биологических, так и социокультурных. Они же служат фальсификаторами, подтверждающими исходный постулат нашей концепции эволюционной стратегии человека и структуры техногенного риска современной цивилизации, о которой будет сказано в заключительном разделе исследования.

Биоэтика и евгеническое движение

XX в. стал эпохой глубоких технологических преобразований, затронувших практически все области человеческой деятельности. Генетика на протяжении всего своего существования (более 100 лет) остается наиболее динамично развивающейся областью биологии, ее теоретическим фундаментом и яблоком раздора для любого общества, начиная с работ Гальтона и кончая современным соматическим клонированием.

Античная евгеника показывает, сколь хорошо греки владели селекцией животных, а из мифов видно, что им также был хорошо известен инцест

(браки братьев с сестрами и родителей с детьми), резко осуждаемый среди людей, но почему-то обычный среди богов.

Генетика — катализатор технологических инноваций в медицине, сельском хозяйстве, фармацевтической промышленности и других бурно развивающихся областях, затрагивающих все стороны современной жизни.

Над всей генетикой издавна висит призрак евгеники — сознательного выведения людей с определенными свойствами при использовании методов селекции. Сам термин введен Фрэнсисом Гальтоном, двоюродным братом Чарльза Дарвина. В конце XIX — начале XX в. финансируемые правительством евгенические программы получили неожиданно широкую поддержку, и не только среди расистов правого крыла и социал-дарвинистов, но и среди таких прогрессивных деятелей, как социалисты Беатрис и Сидни Вебб и Джордж Бернард Шоу, коммунисты Дж. Б.С. Хэлдейн и Дж.Д. Бернал, феминистка и сторонник контроля над рождаемостью Маргарет Сангер. В США и других западных странах были приняты евгенические законы, позволяющие государству в принудительном порядке стерилизовать людей, объявленных «слабоумными», при этом поощряя людей с желательными характеристиками иметь как можно больше детей. Говоря словами судьи Оливера Уэнделла Холмса: «Нам нужны люди здоровые, добродушные, эмоционально стабильные, сочувствующие и умные. Нам не нужны идиоты, слабоумные, нищие и преступники».

Евгеническое движение в Соединенных Штатах почти прекратилось с открытием правды о евгенической политике нацистов — «расовой гигиене», включавшей в себя уничтожение целых категорий людей и медицинские эксперименты над теми, кто считался генетически низшим [Фукуяма, 2004; Глазко, Чешко, 2007].

Фундаментом доктрины «расовой гигиены» в Германии были: теория естественного отбора Ч. Дарвина, трансформированная применительно к человеческому обществу в концепцию социал-дарвинизма; евгеника в ее менделевской интерпретации; расовые теории.

Нацистская идеология предусматривала «создание нового человека» арийской, нордической расы как результата своеобразного глобального евгенического эксперимента:

- а) очищения генофонда германской нации от чуждых ей примесей;
- б) увеличения частоты позитивных генов за счет создания благоприятных условий для размножения их носителей;
- в) завоевания жизненного пространства, необходимого для развития нордической расы.

Генетика человека рассматривалась руководителями НСДАП как практический идеологический инструмент. Она стала инструментом массового уничтожения и насильственной стерилизации: лиц, среди предков которых были евреи и цыгане; всех, кто страдал наследственными болезнями

и/или имел наследственную отягощенность; так называемых носителей «криминальной наследственности» и т. п.

Необходимо помнить, что на первых порах меры по стерилизации умственно отсталых, слепых и глухих от рождения, больных хореей Гентингтона, шизофренией и маниакально-депрессивным психозом были поддержаны западной общественностью. Положение изменилось лишь в 1935 г., когда вновь принятый закон запрещал браки между немцами, имевшими среди предков евреев, и «чистокровными арийцами».

Масштабы геноцида и массовых убийств с началом Второй мировой войны стали непрерывно возрастать уже без всякого рационального политического оправдания. В 1942 г. О. Фишер, например, заявил, что евреи и арийцы принадлежат к разным биологическим видам.

Только после Второй мировой войны были пересмотрены упрощенно однозначные представления о соотношении генетического и средового компонентов в формировании человеческой личности и механизмов наследственного контроля интеллекта.

Континентальная Европа получила тогда действительную прививку от любых попыток возродить евгенику и даже стала негостеприимной территорией для многих видов генетических исследований, особенно это отразилось на генетических работах в Германии. Реакция против евгеники была не всеобщей. В Японии, несмотря на то что эта страна во время Тихоокеанской войны проводила медицинские «эксперименты» без согласия подопытных, движение против евгеники было куда слабее, чем в большинстве других стран Азии. Китай (как и другие страны Азиатского региона) активно преследовал евгенические цели своей политикой в области здравоохранения и контроля роста населения.

Против ранних евгенических программ выдвигались два возражения, которые, скорее всего, не будут применимы к евгенике будущего, по крайней мере на Западе. Первое состояло в том, что евгенические программы не могли достичь поставленных целей при существующих в те времена технологиях. Многие дефекты и аномалии, против которых «евгеники», как они думали, боролись путем селекции, проводя принудительную стерилизацию, определялись рецессивными генами, которые, чтобы проявиться явно, должны быть унаследованы от обоих родителей. Многие с виду нормальные люди останутся носителями этих генов, и соответствующие свойства сохранятся в генофонде, разве что этих людей можно будет тоже выявлять и стерилизовать. Многие другие аномалии вовсе не являются собственно генетическими дефектами либо имеют своей причиной негенетические факторы, с которыми можно бороться улучшением здравоохранения. Например, во многих странах в некоторых деревнях сплошь живут дети с низким интеллектом, и это результат не дурной наследственности, а, как ни странно, просто дефицита йода в питании детей.

Второе главное возражение против прежних форм евгеники состоит в том, что она находится на содержании у государства и носит принудительный характер. Даже в Соединенных Штатах суд имел власть объявить некое лицо имбецилом или дебиллом (термины весьма растяжимые, как часто бывает с определениями психических состояний) и распорядиться, чтобы это лицо было в принудительном порядке стерилизовано. Из-за распространенной тогда точки зрения, что целый ряд видов поведения наследуется, например алкоголизм или преступные наклонности, государство получало власть над репродуктивной свободой значительной части своего населения. Некоторые наблюдатели считают, что главная проблема прежней евгеники — это то, что она стала инструментом силового сектора государства [Фукуяма, 2004; Глазко, Чешко, 2007].

В настоящее время антропогенетика и евгеника продолжают оставаться наиболее политизированными областями исследований наследственности. При этом предметом политического противостояния выступают прежде всего вопросы «Является ли определяющей (по сравнению с внешними факторами) роль наследственности в развитии интеллекта?» и «Возможно ли с помощью генетики оценить и точно диагностировать подобные различия с помощью так называемого “коэффициента интеллектуальности?”». Утвердительный ответ на поставленные выше вопросы ассоциируется у их противников с неизбежностью последующего тезиса о более высоком значении межрасовой наследственной изменчивости в развитии интеллекта по сравнению с внутривидовой, что влечет за собой последующие обвинения в «научном расизме». Отрицательный ответ служит основанием для обвинения в ламаркизме и коммунизме. Сложившиеся в 50–60-е гг. прошлого века в общественном сознании США ментальные и идеологические стереотипы характеризовались негативным отношением к проведению евгенических манипуляций с генофондом, а также к существованию таких наследственных межрасовых различий, которые определяются измерениями величины интеллекта. При этом качество интеллекта в массовом сознании достаточно прочно ассоциируется с определяющей ролью наследственности в его становлении и развитии. Работы подобного рода и до настоящего времени публикуются достаточно регулярно, постоянно вызывая ответную волну критических выступлений.

Концептуальное ядро этой модели включает три взаимосвязанных постулата: в ходе эволюции в каждой популяции формируется «эволюционно-стабильная стратегия» поведенческих реакций, которая не может изменяться за счет спонтанного появления редко встречающихся мутаций, не затрагивающих большую часть популяции; интегральная приспособленность популяции определяется не только репродуктивно активной ее частью, но и также носителями тех же генов, не оставляющими потомства, если их поведение способствует выживанию и размножению попу-

ляции; и следовательно, альтруистическое поведение эволюционно оправдывается тогда, когда оно способствует выживанию носителей тех же генов, что и «жертвующая собой» особь (даже если она не вносит своего вклада в генофонд следующих поколений).

Основная методологическая установка генетико-эволюционной модели — социальную и биологическую эволюцию человека следует считать как равноправные, взаимосвязанные и взаимообусловленные элементы целостной системы. Соответственные социальные и культурные особенности человека обуславливаются сложной цепью событий, начальное звено которой все же — генетические детерминанты [Глазко, Чешко, 2007].

Генотерапия

Методические и теоретические основы генотерапии разрабатываются, в первую очередь, с целью получения высокоэффективных и надежных способов лечения человека, однако задачами биотехнологий, в частности ДНК-технологий, являются и поиски приемов, направленных на повышение продуктивности сельскохозяйственных животных, а также разработку новых и экономичных методов их лечения.

По определению, связанному с дословным переводом термина, генная терапия — это лечение генами. Но такое определение не более чем внешняя аналогия с лекарствами. В общем под генной терапией подразумевают медицинский подход, основанный на введении в клетки и организм генных конструкций с лечебной целью. Желаемый эффект достигается либо в результате работы введенного гена, либо за счет частичного или полного подавления функции поврежденного или сверхэкспрессирующего, т.е. работающего с вредной для организма интенсивностью, гена. Следует специально подчеркнуть, что генная терапия ставит целью лечение не генов, как это иногда считают, а заболевания организма с использованием генов. По сути же процесса генная терапия — это ремонт генов, а в дальнейшем — ремонт геномов и, наконец, реконструкция геномов, геномное редактирование, расширяющее возможности не только менять структуру генов и геномов, но и влиять на транскрипцию генов-мишеней, увеличивая транскрипцию одних и подавляя экспрессию других [Фукуяма, 2004; Глазко, Чешко, 2007].

Жизнедеятельность клетки сложна и включает разнообразие внутриклеточных и межклеточных взаимодействий, которые далеко не всегда могут быть выявлены на основании информации о структурных свойствах молекул, существующих в клетке. Сюда вовлекаются взаимодействия между разными компонентами и процессами, такими как сборка многосубъединичных комплексов, их внутриклеточная компарментализация, организация цитоскелета, распределение и движение макромолекул между мембраной, ядром и цитоплазмой, организация и взаимодей-

ствия между внутриклеточными органеллами, системы транспорта между компартментами и множество других факторов, которые трудно поддаются учету. Возникают, например, такие вопросы: как клеточная архитектура влияет на транспорт белков от места их синтеза к мишеням их действия; как осуществляется координация активности и биогенеза органелл; как создаются внутриклеточные компартменты; как образуются транспортирующие везикулы; каким образом количество и компартментализация белков регулируются в процессах клеточного цикла и дифференцировки; как происходит регуляция движения хромосом в процессе митоза и мейоза; каким образом внеклеточные взаимодействия влияют на судьбу клетки с участием внеклеточного матрикса. Наконец, как обеспечивается передача сигналов от внешних и внутренних систем к аппарату транскрипции; как участвуют элементы клеточной архитектуры, например цитоскелет, в транспорте белков (в частности, в обеспечении канализованности этого транспорта).

Идеи о возможности введения в организм генов с лечебной целью были высказаны еще в начале 60-х гг. XX в., однако реальные попытки такого рода относятся к концу 80-х гг. и практически совпадают с развитием работ по тотальному секвенированию генома человека и созданию международной программы «Геном человека». В 1990 г. была осуществлена попытка лечения тяжелого, обычно несовместимого с жизнью, наследственного иммунологического заболевания (иммунодефицита), вызванного дефектом в гене, который кодирует синтез фермента аденозиндезаминазы (*ADA*).

Первые клинические испытания методов генной терапии были проведены уже в 1989 г. с целью генетического маркирования опухоль-инфильтрирующих лимфоцитов в случае прогрессирующей меланомы. Маркированные прокариотическим геном *neo* Т-лимфоциты, устойчивые к неомицину, легко отселектировались в культуре, что позволило детально проследить их судьбу в кровотоке и избирательное накопление в опухолях.

Стратегии генной терапии можно разделить на три крупных направления: восполнение недостающих функций клетки; модификация генетического аппарата клетки; подавление избыточных функций клетки.

Восполнение недостающих функций клетки. Это направление разрабатывает методы, обеспечивающие восстановление функций, потерянных клеткой вследствие выключения какого-либо гена или отсутствия этого гена. Чтобы вылечить такие клетки, нужно доставить ген, способный обеспечивать недостающую функцию.

Подавление избыточных функций клетки. Методы данного направления должны обеспечить возвращение к норме клеток, излишне проявляющих функцию вследствие болезни.

Модификация генно-терапевтического аппарата клетки предполагает модификацию клетки с целью усиления иммунного ответа организма на нежелательные явления, вызванные инфекцией или возникновением опухолей. Модификация также может заключаться во введении новой генетической информации в клетки-мишени иммунной системы или же в клетки самой иммунной системы.

Все три направления генной терапии должны решать следующие практические задачи: как доставить требуемый ген в организм; как обеспечить его экспрессию в нужных тканях; как обеспечить его нужную регуляцию; как добиться его пожизненного существования и экспрессии.

Последствия манипулирования генами или рекомбинантными ДНК изучены недостаточно. Введение в организм человека последовательностей ДНК, не находящихся под контролем свойственных им регуляторных элементов, может привести к непредсказуемым изменениям метаболических процессов и вызвать функциональный дисбаланс. Современных представлений о структуре генома, его взаимодействиях с экзогенными ДНК и вирусными последовательностями, которые используются в качестве векторов для переноса генов, пока недостаточно для прогнозирования возможных нежелательных или неконтролируемых последствий такого вмешательства. Поэтому при разработке программ генной терапии принципиальное значение имеют вопросы безопасности предполагаемых схем лечения как для самого организма, так и для популяции в целом.

Наиболее существенным элементом в программе генной терапии является анализ последствий проводимых процедур. Он включает: поиск модифицированных клеток в организме пациента после переноса гена и отслеживание динамики этих клеток в определенных тканях. Этот поиск облегчается при наличии в конструкции маркерного гена; анализ экспрессии введенных генов путем идентификации и количественной оценки соответствующего РНК-транскрипта либо белкового продукта гена; анализ коррекции первичного биохимического дефекта; сопоставление полученных данных с результатами комплексного медицинского обследования; внесение необходимых исправлений и добавлений в проводимую схему лечения.

Несмотря на впечатляющие успехи генотерапии на модельных объектах, в настоящее время имеется ряд принципиальных затруднений, препятствующих широкому использованию метода для лечения заболеваний человека. При проведении генотерапии необходимо выполнять, по крайней мере, следующие условия:

1) каждый ген, интегрированный в геном человека, должен нормально экспрессироваться и в случае необходимости адекватно отвечать на регуляторные сигналы организма;

2) интеграция гена в геном не должна сопровождаться инсерционным мутагенезом, нарушающим функционирование жизненно важных генов, и вообще оказывать неблагоприятное генетическое действие;

3) дефектный ген не должен оказывать отрицательного влияния на функционирование трансгена.

Все эти предупреждения справедливы и для случаев терапии с участием встроок регуляторных последовательностей или модификаций экспрессии соответствующих собственных генов, выполняемых с использованием современных методов геномного редактирования, в частности CRISPR/Cas9.

«Каждый человек имеет право родиться здоровым» — такой лозунг выдвинула Всемирная организация здравоохранения. Очевидная, кажется, вещь. Но сколько за ней стоит и медицинских, и этических проблем.

Искусство врачевания стоит на пороге своей новой эпохи, перед которой, пожалуй, померкнет открытие переливания крови и антибиотиков. В США утверждено для клинического испытания более двух сотен протоколов генно-инженерной терапии, которая позволит лечить наследственные болезни, до сего дня расценивавшиеся как непреодолимые [Глазко, Чешко, 2007].

Человек как объект технологических манипуляций. Философский и этический аспекты

ДНК-технология и генная инженерия возвратили евгенику в повестку дня, но ясно, что теоретические взгляды на методологию евгеники будут полностью отличны от тех, что были в 1900–1943 гг. на Западе.

Ситуация становится еще более запутанной, когда дискуссия о правах человека обращается к футурологическим вопросам вроде возможностей генной инженерии и клонирования. Например, специалист по биоэтике Джон Робертсон утверждает, что люди обладают фундаментальным правом на то, что он называет прокреативной свободой, которая включает как право размножаться, так и право отказываться от размножения, а следовательно, и право на аборт. Но право на размножение не ограничено размножением традиционным коитальным путем; оно применимо и к размножению, например, путем оплодотворения *in vitro* (дословно — в стекле, в пробирке).

Потому «генетический скрининг и селективные аборты, как и право выбора партнера либо источника донорских яйцеклеток, спермы или эмбрионов, должны быть защищены законодательно как составные части прокреативной свободы».

Меняются методы генетических исследований, и прогресс генетического скрининга уже сейчас позволяет врачам определять носителей ре-

рецессивных аллелей раньше, чем они решат завести детей, а будущее может дать возможность определять эмбрионы с высоким риском аномалий из-за двух унаследованных рецессивных аллелей. Информация подобного рода уже сейчас доступна, скажем, людям из популяции евреев-ашкенази, у которых выше обычного вероятность носительства рецессивного гена болезни Тея—Сакса; два таких носителя могут решить воздержаться от брака или рождения детей. В будущем может оказаться, что генная инженерия гамет и зародышей даст возможность исключать подобные рецессивные гены у всех потомков конкретного носителя. Если такое лечение станет дешевым и достаточно простым, можно подумать об исключении подобного гена у всей популяции.

Более мягкая евгеника будет вопросом индивидуального выбора со стороны родителей, а не чем-то навязанным гражданину государством. Родители уже делают такой выбор, когда с помощью кариотипирования клеток плода узнают, что у будущего ребенка синдром Дауна, и принимают решение об аборте. В ближайшем будущем новая евгеника, вероятно, приведет к уменьшению числа абортов. И здесь не будет ни принуждения, направленного на взрослых, ни ограничения их права на размножение. В будущем, вероятно, можно будет выбирать, какие гены передавать детям, т.е. родители смогут делать свободный выбор «генетического портрета» своих детей. Однако имеются три основные группы возможных возражений, основанных:

- 1) на религии;
- 2) утилитарных соображениях;
- 3) философских принципах.

Вопрос о том, может ли евгенический или дисгенический эффект от использования генной инженерии стать настолько серьезным, чтобы сказаться на человеческой природе, точно так же останется открытым. Очевидно, что от любой формы генной инженерии, которая может значимо сказаться на генофонде популяции, потребуется доказательство ее желательности, безопасности и относительной дешевизны. «Младенец на заказ» подразумевает, что генетики найдут и картируют «гены» таких свойств, как интеллект, рост, цвет волос, агрессивность или самооценка, и с помощью этого знания создадут «улучшенный» вариант того же ребенка. Поначалу «младенцы на заказ» будут дороги и станут привилегией лишь весьма обеспеченных людей. Станет ли рождение младенца на заказ дешевым и относительно популярным, будет зависеть от стоимости таких технологий, как генотипирование генов эмбриона на основании его клеток, попадающих в кровяное русло матери, или предимплантационной диагностики при экстракорпоральном оплодотворении. Это будет главным итогом и сюрпризом современной генной технологии XXI в.

Интеллект часто упоминается как одна из первых и наиболее очевидных целей будущего генетического усовершенствования. Общество с более высоким средним уровнем интеллекта, возможно, станет богаче — настолько, насколько интеллект связан с производительными силами. Но преимущества более высокого интеллекта относительны, а не абсолютны. Люди хотят сделать своих детей сообразительнее, чтобы они, скажем, попали в Гарвард, но конкурс за места в Гарварде — это игра с нулевой суммой: если мой ребенок окажется благодаря генной терапии умнее и попадет в колледж, то он просто займет место вашего ребенка. Мое решение изготовить ребенка на заказ вовлекает в затраты вас (точнее, вашего ребенка), и в результате непонятно, выиграет ли кто-нибудь. Такой род генетической гонки вооружений сильнее всего ударит по тем, кто из религиозных или иных соображений настроен против изменения генов своих детей. Если все вокруг будут производить такие изменения, воздержаться будет существенно труднее — из страха поставить своего ребенка в невыгодное положение.

Есть два пути: соматическая генная терапия и генная инженерия зародышевых клеток. При первом способе делается попытка изменения ДНК в огромном количестве клеток, обычно путем доставки модифицированного генетического материала с помощью вируса или «вектора». Трудность этого подхода связана с тем, что тело состоит из триллионов клеток, и чтобы терапия была эффективной, необходимо изменить генетический материал в миллионах клеток. Такая терапия не дает устойчивого эффекта.

Генная инженерия в зародышевых клетках давно уже осуществляется рутинно в сельскохозяйственной биотехнологии и успешно реализована у целого ряда животных. Модификация зародышевых клеток требует — по крайней мере, в теории — изменения только одного набора молекул ДНК, т.е. того, который содержится в оплодотворенной яйцеклетке. Эта яйцеклетка далее проходит деление и развивается в полноценный организм. В то время как соматическая генная терапия меняет ДНК соматических клеток, а потому действует лишь на индивидуум, подвергнутый лечению, изменения зародышевых клеток передаются потомкам. В этом и заключается привлекательность метода для лечения наследственных болезней, например диабета.

Среди других изучаемых в настоящий момент новых технологий можно назвать создание искусственных хромосом, когда к 46 хромосомам, существующим в клетках человека, добавляется одна дополнительная. Эта хромосома может активизироваться, лишь когда реципиент достигнет достаточного возраста, чтобы дать информированное согласие на это; и она не наследуется потомством. При таком способе устраняется необходимость изменять или заменять гены в существующих хромосомах.

Таким образом, искусственная хромосома может создать мост между предимплантационным скринингом и перманентной модификацией генов зародыша.

Но чтобы подобная генетическая модификация человека стала возможной, необходимо преодолеть множество проблем, начиная, например, с самой сложной задачи, из-за которой многие считают, что какая бы то ни было осмысленная генная инженерия сложного поведения просто невозможна. Выше мы отмечали, что многие болезни вызываются взаимодействием нескольких генов; бывает также, что один ген имеет несколько эффектов. Одно время считалось, что каждый ген продуцирует одну информационную РНК, которая, в свою очередь, продуцирует белок. Но, поскольку в геноме человека на самом деле содержится порядка 23 тыс., а не 100 тыс. генов, эта модель оказывается несостоятельной, так как белков, составляющих тело человека, куда больше 23 тыс. Это заставляет предположить, что некоторые одиночные гены играют роль в создании множества белков, а потому имеют множественные функции.

Например, аллель, ответственная за возникновение серповидно-клеточной анемии, также дает иммунитет против малярии. Именно поэтому она широко распространена у африканского населения, где малярия — одно из главных заболеваний. А значит, исправление гена серповидно-клеточной анемии может повысить подверженность заболеванию малярией — пусть это неважно для обитателей Северной Америки, однако способно сильно повредить носителям нового гена в Африке. Гены теперь сравнивают с экосистемой, где каждый фактор влияет на все остальные.

Второе существенное препятствие на пути геной инженерии человека связано с этикой экспериментов на людях. Чтобы добиться успеха в клонировании одной-единственной овечки Долли, потребовались сотни неудачных попыток. Вряд ли кто-то захочет создавать человеческого младенца, пока шансы на успех не станут намного выше, и даже тогда процесс клонирования может дать дефекты, которые проявятся лишь через годы.

И последнее: ограничение любой будущей возможности изменения человеческой природы связано с массовостью. Даже если генная инженерия человека преодолеет первые два препятствия и добьется успеха в создании ребенка «на заказ», «человеческая природа» не изменится, если эти изменения не будут статистически значимы среди населения в целом. Совет Европы рекомендовал запретить генную инженерию человеческих эмбрионов, поскольку она затронула бы «генетическое наследие человечества». Но «генетическое наследие человечества» — это огромный пул генов, содержащий множество разных аллелей. Модификация, удаление или добавление этих аллелей в малом масштабе изменят наследственный материал индивидуума, но не всего рода человеческого. Горстка богатых людей, генетически модифицирующих своих детей для увеличения роста

или повышения интеллекта, не сможет оказать влияния на рост или IQ вида в целом. Любые будущие попытки евгенически улучшить человеческую расу будут быстро задавлены естественным приростом населения.

Успехи ДНК-технологий и исследований стволовых клеток позволят ученым регенерировать практически любую ткань тела, и ожидаемая продолжительность жизни перевалит далеко за 100 лет. Если человеку потребуется новое сердце или печень, их просто вырастят в теле коровы или свиньи; повреждения мозга от болезни Альцгеймера или инсульта станут обратимыми.

Единственная проблема: есть множество аспектов старения человека, которые еще не до конца поддаются профилактике и лечению, например изменение восприятия времени, уменьшение способности воспринимать новую информацию, сексуальную привлекательность и успех у партнеров репродуктивного возраста. В дальнейшем, возможно, возникнет проблема репродуктивной конкуренции различных возрастных групп [Фукуяма, 2004; Глазко, Чешко, 2007].

Немало опасений вызывает возможность применения технологии клонирования по отношению к человеку (начиная от создания «живых банков органов» на случай болезни и кончая крахом гуманистических представлений о человеке как единственном и уникальном существе, неповторимой личности, если эту личность окажется возможным тиражировать в любых количествах). Понятно, что должны будут измениться общечеловеческие нравственные ценности, которые затронут и такие традиционные институты человечества, как брак, семья, родственные связи.

Доводы о полной безвредности клонирования пока не всех успокаивают. Новые успехи клонирования в ближайшее время покажут, что требуются не отдельные ограничения, введенные в ряде стран, а общая позиция мирового сообщества. Ситуации похожи, и нужен глобальный вердикт, как о ядерных испытаниях, химическом и биологическом оружии.

Тем не менее в январе 2001 г. британский парламент одобрил законопроект, разрешающий клонирование эмбрионов человека в терапевтических целях. Британские лорды большинством голосов (212 против 92) одобрили закон, разрешающий операцию клонирования с участием человеческих эмбрионов. Решение британского парламента вызвало большой резонанс, особенно в религиозных кругах. Лордов призывали одуматься и отказаться от законопроекта, ибо клонировать человека означает превышение своих полномочий и выход в другую реальность с трудно прогнозируемыми последствиями. Однако британские парламентарии сделали выбор в пользу миллионов тяжелобольных людей. «Мы обязаны уважать особый статус человеческого эмбриона, — заявил один из членов верхней палаты Великобритании лорд Хант, — но мы должны также уважать миллионы людей, страдающих разрушающими их организм недугами».

гами. Мы делаем выбор в их пользу». «Решение парламента позволит Великобритании стать мировым лидером в области биотехнологий», — тут же заявил британский премьер-министр Энтони Блэр. В Великобритании уже действуют 160 биотехнологических компаний. Страна получает десятки миллиардов инвестиций.

Прежде согласно принятому в Великобритании акту о человеческом оплодотворении и эмбрионах (1990) использовать в научных и лечебных целях можно было только эмбрионы, которые добровольно отдавали их родители. И их изучали в строго определенных целях: бесплодие, определение врожденных болезней и дефектов у будущего ребенка и т.п. Теперь же исследователи и медики имеют возможность методом клонирования выращивать «лечебные» эмбрионы, что, как надеются ученые, произведет настоящую революцию в медицине.

Страсти вокруг клонирования тем временем не утихают. Ученый мир разделился на сторонников и противников клонирования, вторых много больше. Итальянский врач Северино Антинори, один из крупнейших эмбриологов Европы и лучший гинеколог Италии, прославился тем, что помог стать матерью женщине 63 лет. Затем он увлекся клонированием и вместе с группой единомышленников вознамерился клонировать человека. Когда в начале 2001 г. он публично заявил об этом, ему пригрозили запретом на профессиональную деятельность во всех странах Европейского союза. Клиника профессора Антинори — римский Институт репродукции человека. Основную полемику профессор ведет с Ватиканом. Святой престол, решительно выступающий против клонирования, Антинори называет не иначе, как сборищем мракобесов и ретроградов.

Кто поддерживает Антинори, кто вместе с ним собирается клонировать человека? Специалисты с мировыми именами. Американский генетик греческого происхождения Панайотис Завос, глава медицинской корпорации, производящей лекарства от бесплодия (его лаборатория в Лексингтоне, штат Кентукки, продает препараты для искусственного оплодотворения). А также канадский эмбриолог Брижитт Босселье. Она руководит центром «Клонэйд» в Канаде и является членом секты разлинов, которые когда-то решили клонировать человека. Антинори, Завос и Босселье считают, что их экстравагантные эксперименты абсолютно необходимы широкой медицинской практике. В предполагаемом опыте заинтересованы и уже согласились принять участие около 200 семейных пар из Великобритании, США и Европы, страдающих бесплодием. Возможно, чтобы избежать проблем с законом, акция клонирования — выращивание 200 младенцев-клонов — будет проведена где-нибудь в нейтральных водах, на специально оборудованном судне.

Антинори утверждает, что за ним и его сторонниками стоит мощный консорциум «с неограниченными финансовыми возможностями». Взве-

сильно все «за» и «против» клонирования нелегко. Многих страшит то, что клонирование может-де нарушить генофонд человека. Но процедура клонирования очень трудоемкая и дорогая. И позволить себе ее может далеко не каждый житель нашей планеты. В большинстве своем люди все равно будут размножаться естественным путем. Так что появление нескольких сотен или даже тысяч клонов генофонду вряд ли повредит.

Есть и более важные, этические аспекты проблемы клонирования. Например, первое: у клонов не будет индивидуальности, этой неповторимой основы каждого человека. Это возражение в значительной мере снимается, если учесть влияние среды на процесс формирования человеческой личности. Второе: у клонов на генетическом уровне будут отсутствовать отец или мать, что связано с серьезным психологическим шоком. Третье, наиболее болезненное: в результате таких экспериментов обязательно будут неудачи. Ошибки тут неизбежны (пример Долли — один удачный эксперимент из 327 неудачных), однако они чреватые тем, что прежде священное отношение к человеческому существу, даже на уровне зародыша, должно будет смениться безразличием. Как свидетельствует история общества, официальные запреты только разожгут интерес к клонированию. Эта область научной и медицинской деятельности может быстро стать криминогенной, поскольку очевидны ее перспективы и потенциальная доходность. К тому же запреты можно учреждать лишь в цивилизованном, продвинутом обществе. В демократической зоне, скажем в США или Европе, еще возможен контроль над клонированием человека. А в других, менее щепетильных государствах кто сможет учинять запреты и следить за их исполнением? Ясно, что рано или поздно, но практика клонирования обязательно войдет в нашу жизнь. И ее последствия для всего человечества будут весьма ощутимы [Глазко, Чешко, 2007].

Человек как объект технологических манипуляций. Практический аспект

Итак, хотим мы того или нет, человеческая психика и сама биологическая природа человека становятся объектом технологических манипуляций. Нейрофармакология непосредственно не относится к генетической инженерии, однако является областью науки, которая создала мощные технологии воздействия на человеческую психику, прежде всего на процессы восприятия и переработки информации, особенности мировосприятия и мировоззрения.

В США Администрация по пищевым продуктам и лекарственным средствам (FDA) занимается терапевтическими препаратами, а Администрация по борьбе с наркотиками (DEA) и правительства штатов занимаются борьбой с нелегальными наркотиками, такими как героин, кокаин

и марихуана. Обществу придется принимать решения о законности и степени допустимости использования нейрофармакологических препаратов следующего поколения. В случае появления препаратов, усиливающих память или другие когнитивные способности, придется решать вопрос о желательности применения лекарств в этих целях и о том, как это применение регулировать.

Наиболее известный пример — антидепрессант *прозак*, созданный фирмой «Эли Лилли», и родственные ему лекарства, такие как *золот* «Пфицера» и *наксил* «Смит Клайн Бичем». Прозак, или флуоксетин, — это так называемый избирательный ингибитор повторного поглощения серотонина (*SSRI*), который, как следует из названия, блокирует реабсорбцию серотонина нервными синапсами и эффективно увеличивает уровень серотонина в мозгу. Как уже отмечалось выше, *серотонин* — ключевой нейромедиатор: его низкий уровень у людей и приматов связан с плохо контролируемой импульсивностью и агрессией, направленной на несоответствующие цели, а у людей — еще и с депрессией, агрессией и суицидом.

Поэтому неудивительно, что прозак и родственные ему препараты стали в конце XX столетия заметным культуральным явлением, вызывающим чудесные превращения личности. Американский психоневролог Питер Крамер описывает свою пациентку, которая, страдая хронической депрессией, завязала мазохистские отношения с несколькими женатыми мужчинами и загнала себя в тупик на работе. Через несколько недель приема прозака ее личность полностью переменилась: свои мучительные отношения она порвала и стала встречаться с другими мужчинами, сменила круг друзей и стала вести себя на работе более уверенно и менее примиренчески.

Вполне может быть, что в свое время прозак отправится туда же, куда и антипсихотическое средство торазин, и уже не будет считаться чудо-лекарством из-за своих долговременных побочных эффектов, которые при его появлении были плохо исследованы. Но более трудная политическая проблема возникнет, если окажется, что прозак полностью безопасен или если будут открыты аналогичные лекарства, действующие именно так, как гласит реклама. Потому что прозак, как утверждается, воздействует на самые главные эмоции человека: его самооценку.

Самооценка — психологическое свойство, о котором все говорят, что им его надо побольше. Оно относится к одному из самых важных аспектов человеческой психологии — жажде признания, свойственной всем людям. Сократ в «Республике» Платона утверждает, что существуют три различные части души: желающая, рассудочная часть и то, что он называет «тимос» — греческое слово, в переводе означающее «одушевленность». Тимос — это гордая сторона человеческой личности, та часть,

которая требует, чтобы другие признавали ценность или достоинство человека. Это нежелание каких-то материальных благ или предметов для удовлетворения потребности — «полезности», которую экономисты зачастую понимают как источник мотивации человека, но некий межсубъектный запрос, требование, чтобы какие-то другие люди признали социальный статус человека. И действительно, на самом деле есть потребность в признании статуса, или того, что называется позиционными благами. Требование признания не обязательно должно быть личным: человек может требовать, чтобы другие признали его богов, или святых, или нацию, или правое дело.

Большинство политиков осознают центральную роль собственного признания, в частности в политике. Требование признания часто перевешивает экономический интерес. Именно по этой причине философ Гегель считал, что исторический процесс в основе своей движется борьбой за признание, начинающейся с первобытной «кровавой битвы» между двумя соперниками за то, кто будет господином, а кто — рабом, и кончающейся возникновением современного гражданского общества, в котором все граждане считаются свободными и достойными равного признания.

Еще Аристотель заявил, что политики не было до тех пор, пока первый законодатель не основал государство и не установил всеобщий закон, — событие, которое оказалось величайшим благом для человечества, но для исторического развития было случайным. Это согласуется с тем, что мы сегодня знаем о возникновении государства, которое произошло где-нибудь в Египте и Вавилоне около 10 тыс. лет назад и, вероятнее всего, было связано с развитием земледелия. До того люди десятками тысяч лет жили в обществе охотников и собирателей, не знаящем государства, где в самой большой группе насчитывалось не более 50–100 особей, в основном связанных родством. Так что в определенном смысле социальность людей явно природна, но то, что человек от природы животное политическое, не так очевидно. Но путать человеческую политику с социальным поведением любого другого вида — значит принимать часть за целое. Только люди умеют формулировать, обсуждать и изменять абстрактные нормы справедливости.

Однако Аристотель настаивает, что политика естественна для человека, вопреки тому факту, что в ранние периоды человеческой истории она не существовала. Он утверждает, что именно человеческий язык позволяет людям формулировать законы и абстрактные принципы справедливости, необходимые для создания государства и политического строя. Этологи замечают, что многие другие виды общаются с помощью звуков и что шимпанзе и другие виды до определенной степени способны усвоить язык людей. Но ни у одного другого вида нет человеческого языка, т.е. возможности формулировать и сообщать абстрактные принципы дей-

ствия. И только когда эти два свойства — социальность человека и человеческий язык — соединились, возникла человеческая политика. Язык, очевидно, развивался для усиления возможности общения, но весьма маловероятно, чтобы существовали эволюционные силы, выковавшие его намеренно так, чтобы могла возникнуть политика. Человеческая политика, хотя и естественная в состоянии возникновения, не сводится ни к животной социальности, ни к животному языку, которые ей предшествуют.

Вот по этой причине такое лекарство, как прозак, может иметь серьезные политические последствия. Обычным и морально приемлемым способом преодоления низкой самооценки является борьба с собой и с другими, усердная работа, принесение каких-то весьма ощутимых жертв, в результате же человек поднимается наверх и это признается другими.

Но вот выходит на сцену американская фармацевтическая промышленность и она (с помощью таких лекарств, как золофт и прозак) предлагает изменить самооценку с помощью флаконов — просто путем подъема уровня серотонина в мозгу. Возможность изменения личности, как описывает ее Питер Крамер, выдвигает несколько интересных вопросов. Нельзя ли было избежать всей борьбы в человеческой истории, если бы только у людей было побольше серотонина в мозгу? Потребовалось бы Цезарю или Наполеону завоевывать пол-Европы, будь у них возможность регулярно глотать таблетку прозака? И если да, то что бы случилось с историей?

Очевидно, что в мире есть миллионы людей с клиническими проявлениями депрессии и у них чувство собственной ценности куда ниже, чем должно быть. Для них прозак и его аналоги — уникальный дар. Но низкие уровни серотонина не отмечены четкой демаркационной линией между нормой и патологией, и существование прозака открывает путь тому, что Крамер удачно назвал косметической фармакологией, т.е. приему лекарства не ради его терапевтического действия, а просто потому, что от него человеку становится «лучше, чем хорошо». Если для человеческого счастья так необходимо чувство самооценки, то кто же откажется от его добавки?

Если прозак оказывается чем-то вроде пилюли счастья, то риталину достается роль явного средства для общественного контроля. Существует тревожная симметрия между прозаком и риталином. Первый широко назначается депрессивным женщинам с дефицитом самооценки; им он дает самоощущение лидеров, вызванное повышением уровня серотонина. С другой стороны, риталин в основном назначается мальчикам, которые не могут тихо сидеть в классе, поскольку природа их для этого не предназначила. Таким образом, два пола исподволь подталкиваются к средней андрогинной личности, довольной собой и социально приемлемой, что в современном американском обществе считается вполне политически корректным результатом.

Прозакириталин — пока лишь первое поколение реальных психотропных средств. Есть шанс, что практически все чудеса, которые народная фантазия ждет от генной инженерии, будут осуществлены с помощью нейрофармакологии. Лекарства группы так называемых бензодиазепинов могут использоваться для воздействия на системы гамма-аминомасляной кислоты с целью снижения тревожности, поддержания спокойной, но активной бодрости и более коротких периодов адекватного сна без побочных седативных эффектов. Стимуляторы ацетилхолиновой системы могут применяться для повышения способности к запоминанию новых фактов, сохранению их в памяти и улучшению способности вспоминать факты. Стимуляторы допаминовой системы могут повысить выносливость и целеустремленность. Селективные ингибиторы реабсорбции серотонина в комбинации с препаратами, воздействующими на допаминовую и норадрениновую системы, могут порождать изменения поведения, управляемого взаимодействием систем других нейромедиаторов. И наконец, может появиться возможность воздействия на системы эндогенных опиатов для уменьшения болевой чувствительности и повышения порога удовольствия.

Итак, не надо ждать появления генной инженерии и спроектированных младенцев, чтобы ощутить те политические силы, которые выведут на сцену новые медицинские технологии.

Распространение психотропных средств в США выявляет три сильных политических тренда, которые вновь проявятся при появлении генной инженерии.

Первый — это желание со стороны обыкновенных людей (обывателей) снять с себя ответственность за свои действия. И как можно больше переложить ее на медицину.

Второй — давление сильных экономических интересов, способствующее этому процессу. Среди носителей этих интересов, например, учителя и врачи, которые всегда предпочтут прямой биологический путь сложным обходным путям социального воздействия на поведение, а также фармацевтические компании — изготовители этих лекарств.

Третий тренд, возникающий из попыток все на свете отнести к медицине, — это тенденция расширять область применения лекарств на все большее число состояний. Всегда будет возможно найти где-нибудь врача, который согласится, что такое-то и такое-то неприятное или тяжелое состояние есть патология, и только вопрос времени, когда широкая общественность начнет считать это состояние инвалидностью, юридически подлежащей какой-то общественной компенсации.

Термин «*социальный контроль*», конечно, пробуждает разного толка политические фантазии о правительствах, использующих препараты изменения сознания с целью превращения народа в послушных подданных.

Это конкретное опасение не относится к предвидимому будущему. Но социальный контроль — это вещь, которой могут воспользоваться иные социальные силы, кроме государства: родители, учителя, школы и другие, чьи интересы связаны с поведением людей. Демократия — «тирания большинства», и в ней «общественное мнение» изгоняет подлинные разнообразие взглядов и терпимость. (В наши дни это явление известно под названием «политической корректности».)

Нейрофармакология также указывает путь к возможным политическим следствием. Вне сомнения, лекарства вроде прозака или риталина помогают колоссальному числу людей, которым иначе не помочь. Дело в том, что существует много людей с серьезной депрессией или выраженной гиперактивностью, чье состояние не дает им радоваться нормальной для большинства жизни. Мало найдется людей, которые потребовали бы прямого запрета на подобные средства или ограничили бы их применение лишь явно клиническими случаями. Что нас может (и должно) волновать — это использование таких лекарств либо для «косметической фармакологии», т.е. для изменения нормального поведения, либо для замены одного нормального поведения на другое, которое кем-то считается социально предпочтительным.

Биотехнологическое использование эмбриональных и стволовых клеток человека

Люди спорили о статусе человеческого эмбриона в различные эпохи истории. В античной Греции философы-стоики отрицали, что эмбрион или плод представляет собой существо, независимое от материнского организма. Для них новая человеческая жизнь начиналась тогда, когда новорожденный ребенок начинал самостоятельно дышать. В то же время школа платоников настаивала на том, что эмбрион представляет собой новое, самостоятельное живое существо. Этот взгляд был далее поддержан христианскими мыслителями, которые рассматривали аборт как убийство человека, поскольку человек в проекции — уже человек. В Каноническом законе Византии развивающийся эмбрион имеет статус существа, наделенного правами. Философы той эпохи полагали, что разумная душа вселяется в зародыш на сороковой или на восьмидесятый день после зачатия в зависимости от пола эмбриона. Тем не менее статус эмбриона или плода до сих пор остался дискуссионным.

Ткань плода может быть использована при лечении болезнью Паркинсона и Альцгеймера, серповидно-клеточной анемии, диабета. Особая проблема — коммерческое использование эмбрионального материала, которое побуждает женщин в развивающихся странах продавать свой плод. В соответствии с Актом 42/1988 короля Испании Хуана Карлоса I

использование материала эмбриона или плода не ради лечения и диагностики болезней и соответствующих медицинских исследований, а в каких-либо иных целях должно подлежать рассмотрению инстанций, облеченных полномочиями юридической власти.

С конца прошлого столетия наметилась общая тенденция к снижению числа сперматозоидов в человеческом семени. Причинами этого могли быть изменения окружающей среды, пищевых привычек людей, стиля одежды и ритма жизни. Эта неблагоприятная тенденция проявляется в учащении случаев мужского бесплодия, хотя бесплодными бывают и женщины. Необходимо врачебное вмешательство.

Искусственное осеменение успешно применяется уже в течение нескольких десятилетий. Оно было впервые использовано в Бельгии более 50 лет тому назад, причем применяли как сперму родителя, так и донорскую сперму. В последние годы предложено использовать доноров яйцеклеток или зародышей; метод принес обнадеживающие, хотя пока ограниченные результаты [Глазко, Чешко, 2007].

Вопрос этот уже возник в связи с исследованиями по стволовым клеткам и клонированию. Исследовательские работы по эмбриональным стволовым клеткам требуют намеренного разрушения эмбрионов, а так называемое терапевтическое клонирование требует не разрушения их, но намеренного создания для научных целей перед разрушением. Оба этих вида деятельности решительно осуждаются теми, кто верит, что жизнь возникает с зачатием и эмбрион имеет полный моральный статус человека.

Здесь вопрос таков: что дает подход с точки зрения естественных прав, очерченный выше, к вопросу о моральном статусе нерожденных, инвалидов и так далее? Никто не уверен, что этот подход дает определенный ответ, но, по крайней мере, он может нам помочь определить возможные варианты ответа [Фукуяма, 2004; Глазко, Чешко, 2007].

Процедура опытов с эмбрионами такова. Берется донорская яйцеклетка, из нее вынимается ядро и вместо него вводится ядро клетки больного пациента. Затем яйцеклетку помещают в эмбрион и стимулируют ее деление и рост. За 14 дней медики и ученые должны собрать необходимое для лечения или исследований количество клеток. Когда же эмбрион достигнет двухнедельного возраста, его согласно новому закону надо уничтожить.

Так что собственно клонирование детей по-прежнему остается делом нелегальным, занятием, преследуемым по закону.

В чем вообще смысл всех этих опытов?

Для ответа необходимо рассказать о «запасных» клетках. Они появляются еще у эмбриона. Пока ребенок развивается во чреве матери, эти «просыпающиеся» клетки делятся и мигрируют по всему организму будущего детеныша. Так образуются самые разные ткани: мозг, печень,

кожа, волосы и т.д. До 14 дней эмбрион состоит практически из одних «спящих» клеток. После рождения ребенка количество «спящих» клеток значительно уменьшается. Во взрослом мозгу их очень мало. Но если эти клетки «разбудить», сделать их активными, то их количества хватит на то, чтобы заменить поврежденные клетки, скажем, мозга человека и тем самым восстановить его утраченные функции. Нет сомнений, что технология активации «спящих» клеток будет разработана. И тогда... Велика череда страшных болезней, которые человечество никак не может одолеть и причиной которых является гибель или перерождение специализированных клеток — склероз, диабет, рак, СПИД. Грозны инсульт и другие недуги мозга, к примеру болезнь Паркинсона. Ведь нет ничего хуже, когда телом управляет больной мозг. Не просто лечить, но и «омолаживать» свой мозг — и этого ждут от геной инженерии. Ждут и те, кто страдает болезнью Альцгеймера.

Болезнь Альцгеймера — тяжелейший недуг, настоящая «катастрофа мозга», заболевание, ведущее к распаду функций коры головного мозга человека, — впервые стала объектом медицинского исследования в 1907 г. Это сделал немецкий патологоанатом и психиатр Алоиз Альцгеймер (Alois Alzheimer). Болезнь Альцгеймера еще называют «недугом стариков». Недаром старческое слабоумие часто именуют «альцгеймеризацией». Ни в одной из трех советских энциклопедий (издание 1920-х гг., предвоенное и послевоенное) не найдешь статьи «Болезнь Альцгеймера», поскольку в то время болезнь Альцгеймера не носила массового характера. Медицинские энциклопедии — другое дело. Тут можно встретить и даты жизни Альцгеймера, и описание открытого им заболевания, но отмечается, что эта болезнь возникает крайне редко.

Все изменилось к концу XX в. Резкое увеличение средней продолжительности человеческой жизни (особенно в развитых странах) привело к появлению на Земле огромного количества людей старшего возраста. Прогнозы говорят о том, что лет через 50 в передовых странах Запада и в Японии каждый третий житель будет старше 60 лет. Но это как раз тот срок, когда болезнь Альцгеймера начинает реально грозить человеку. Любопытно при этом, что, по статистике, женщины в три—пять раз чаще заболевают, нежели мужчины.

В США десятки миллионов американцев страдают болезнью Альцгеймера. Самый яркий пример — Рональд Рейган, бывший президент Соединенных Штатов Америки. Медицинская статистика утверждает, что болезнь Альцгеймера исподволь настигает людей к 50–60 гг. Человек не лежит в постели с высокой температурой, не глотает антибиотики, не жалуется на сердце и работу других органов, не кричит от боли. Он тихо и неуклонно деградирует умственно. В начале заболевания (два-три года) нарушается речь, затрудняется счет, ухудшается узнавание. Осо-

бенно страдает память, дело может дойти до того, что человек не может вспомнить имена своих ближайших родственников (жены, детей). Он перестает узнавать даже себя в зеркале. Расстраивается внимание, осмысливание и восприятие окружающего. Утрачиваются привычные, десятилетиями наработанные навыки, как сложные (шитье, разборка мясорубки), так и элементарные (открыть спичечный коробок, одеться, обуться). У таких стариков часто наблюдается мрачно-угрюмое или недовольно-раздражительное настроение, неприязненное отношение к окружающим, отрешенность от них. Прогноз врача неутешителен: заболевание (оно может длиться и 10 лет) неуклонно прогрессирует и, в конце концов, больной гибнет. Эффективных методов лечения пока нет. Страдающих болезнью Альцгеймера, как правило, помещают в психиатрические лечебницы, где им обеспечивают постоянный надзор и уход. Суть этой болезни — накопление в коре головного мозга амилоидов. Еще интересная особенность: чем старше возраст, в котором развивается болезнь, тем она продолжительнее.

Второй этап болезни — слабоумие, или деменция (*dementia*): оскудение и упрощение психической деятельности, что характеризуется ослаблением познавательных процессов, обеднением эмоций и нарушением поведения. Неизбежный финал — полная атрофия головного мозга.

На первый взгляд, учение о естественных правах, основывающее достоинство человека на том факте, что люди как вид обладают некоторыми неповторимыми свойствами, должно помочь нам построить градацию прав — в зависимости от того, насколько каждый отдельный представитель вида этими свойствами обладает. Например, старик с болезнью Альцгеймера теряет способность рассуждать, свойственную нормальному взрослому, а потому — и ту часть своего достоинства, которая позволяла ему участвовать в политике путем голосования или конкуренции за выборную должность. Разум, нравственный выбор и обладание свойственными виду эмоциями являются общими практически для всех людей, а потому служат основой для всеобщего равенства, но каждый индивид обладает этими свойствами в большей или меньшей степени: есть люди более разумные и менее, люди более совестливые или с более сильными эмоциями. Если дойти до крайности, то можно провести различия между индивидами на основании того, насколько они обладают этими основными человеческими качествами, и дифференцированно определять их права, исходя из этих различий. Такое уже случалось в истории [Фукуяма, 2004; Глазко, Чешко, 2007].

Вот только будет ли «естественная аристократия» все еще принадлежать *Homo sapiens*? Иерархическая шкала признака «человечность», которая отсюда следует, — одна из причин, по которой люди подозрительно относятся к самой концепции естественных прав.

По статистике, каждый день тысячи американцев (население США — 260 млн человек) отмечают свое 50-летие. И по достижении этого возраста большинство из них замечают те или иные признаки частичной потери памяти. Поколение «бэбибумеров» (послевоенное поколение Америки, когда в семьях рождалось много детей), именно сейчас входящее в этот возраст, по-видимому, первым осознало все неприятности, связанные с болезнью Альцгеймера. Перед лицом такого ужасного будущего «бэбибумеры» испытывают величайшее беспокойство, особенно если они хотя бы раз столкнулись даже с самым слабым признаком расстройства памяти.

Обеспокоенные американцы тратят ныне каждый год миллиарды долларов на приобретение средств, улучшающих память, будь то книги, магнитофонные мнемонические курсы, не говоря уже о пищевых добавках вроде гинкго билоба, реклама которых пугающе агрессивна.

Федеральное правительство США также озабочено этой проблемой. Оно вкладывает миллионы долларов в проекты, нацеленные на определение того, что же является «нормальной», связанной с возрастом потерей памяти, а что — опасными признаками распада личности, сопровождающимися серьезными болезнями мозга. Одна только болезнь Альцгеймера стоит американскому обществу, по подсчетам, 100 млрд долл. в год (подразумеваются потеря работоспособности и долгосрочный уход за больными.) Поэтому любое исследование, которое сулит остановить развитие потери памяти, становится в наше время насущной необходимостью.

Ученые надеются, что когда-нибудь станет возможным замедлить течение болезни Альцгеймера или вылечить ее с помощью медикаментов. Их настойчиво ищут. В настоящее же время доступны два одобренных Административной службой контроля за лекарственными и пищевыми продуктами (ФДА, *Food and Drug Administration*, США) лекарства для лечения болезни Альцгеймера: донепезил, торговое название «арицепт», и такрин — «когнекс». Они оба блокируют фермент, разрушающий ацетилхолин, и в некоторых случаях замедляют течение болезни. В процессе работы памяти задействованы химические соединения — нейротрансмиттеры, в их число входит и ацетилхолин. Это с их помощью сигналы имеют возможность циркулировать в мозговой ткани. В процессе обучения образуются синапсы — соединения между мозговыми клетками, они создают сложную сеть связей. Однако с возрастом эти синапсы «ослабевают»: 25% потерь происходит между 25 и 55 годами, и соответственно ослабевают память.

Многие исследователи в мире заняты поиском универсального средства. Предлагаются мегадозы антиоксидантов, например витаминов E и C. Считается, что они могут предотвратить клеточные изменения, вызывающие потерю памяти. Иногда высокими дозами витамина E удается

замедлить болезнь Альцгеймера на семь месяцев. Конечно, все это — полумеры, мелкая врачебная «косметика». Необходим революционный скачок — изобретение лекарств, предотвращающих болезнь Альцгеймера. Надо выяснить причины, ведущие к перерождению и гибели нервных клеток у пожилых людей, и устранить их. Есть надежда, что методика активации «спящих клеток», о которых мы рассказывали выше, поможет избавить человечество от этого тяжелого недуга.

Заманчивые перспективы открывает генетически направленная трансплантация. Фирма «Герон» намерена использовать права для реализации программы «терапевтического клонирования». Она состоит в создании человеческих эмбрионов из клеток кожи, или мышц, или других тканей больных людей, выделении из таких эмбрионов стволовых клеток соответствующих тканей и пересадки их этим же пациентам в лечебных целях.

Сейчас выводят специальные породы свиней, в геном которых введены гены совместимости. Их органы могут быть использованы для трансплантации человеку. Возможен и другой подход — выращивание здоровых органов из необходимой клеточной популяции.

Согласно обнародованному официальному правительственному докладу британские ученые могут в строго ограниченных случаях клонировать человеческий эмбрион, с тем чтобы в дальнейшем использовать его клетки для лечения взрослого «двойника». Речь, в частности, идет о коже и других тканях человеческого организма. По мнению авторов доклада, такое ограниченное клонирование может помочь победить считающиеся до сих пор неизлечимыми человеческие недуги.

Следует подчеркнуть, что при осуществлении клонирования для получения целых организмов, кроме этических, возникает ряд специфических проблем. Некоторые из них (низкая эффективность, побочные явления и т.п.) — изначально технические. Другие носят политический и социальный характер.

Согласно декрету Совета Европы о клонировании человека: «Использование людей как орудий путем намеренного создания генетически идентичных людей противоречит человеческому достоинству и потому является злоупотреблением медициной и биологией». Человеческое достоинство — одна из тех концепций, которую политики, как вообще все участники политической жизни, упоминают через слово, но которую почти никто не может четко определить или объяснить.

Требование равенства, признания или уважения — доминирующая страсть нового времени. Это значит, что либеральная демократия — вещь непростая. Не обязательно, чтобы мы считали себя равными во всех главных отношениях или требовали, чтобы у нас была точно такая жизнь, как у других. Большинство людей мирится с фактом, что Моцарт или Эйнштейн обладают талантами и способностями, которых нет у них самих,

и что эти люди получают признание и даже денежную компенсацию за применение этих талантов. Мы принимаем, хотя нам это и не обязательно нравится, тот факт, что ресурсы распределяются неравномерно, на основании того, что называют «различными и неравными способностями приобретать собственность». Но мы также считаем, что люди заслуживают права сохранять ими заработанное и что способности к работе и заработку у людей не одинаковы. И мы принимаем факт, что мы выглядим по-разному, происходим от разных рас и народов, принадлежим к разным полам и разным культурам [Ingalhalikar et al., 2014; Фукуяма, 2004; Глазко, Чешко, 2007].

БИОПОЛИТИКА. СОЦИАЛЬНЫЙ И ЮРИДИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ РАЗВИТИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОТЕХНОЛОГИИ ЧЕЛОВЕКА

Современные генные технологии будут оказывать существенное влияние на будущее цивилизации. Восприятие плюсов («социальное благо») и минусов («социальный риск»), проистекающих из развития современной фундаментальной науки и высоких технологий, настолько очевидно, что поделило мир на «золотой миллиард» (страны с высоким уровнем жизни и технологий) и страны «третьего мира» без науки и современных технологий, с низким уровнем жизни и тяготеющие к принципу «назад к природе», опирающиеся только на свое прошлое и фактически не интересующиеся будущим своих детей, внуков и человечества в целом [Глазко 2006]. Да, человечество накопило много проблем, но все они, в принципе, решаемы.

Генетика и проект по расшифровке генома человека завершен (The Human Genome Project, HGP). Расшифровка его наводила на мысль, что ученые расшифровали генетическую основу жизни, но все, что было сделано, — это представление последовательности в виде записей книги, язык которой понятен лишь частично. До сих пор не закончен спор в таких основных вопросах, как, например, сколько генов содержится в ДНК человека. Через несколько месяцев после завершения расшифровки компания «Селера» и Международный консорциум расшифровки генома человека выпустили исследование, указывающее, что это число находится в пределах от 30 тыс. до 40 тыс. вместо 100 тыс. по прежним оценкам. Теперь принято считать, что их число еще меньше, 23 тыс. За пределами геномики лежит расцветающая область протеомики, ставящая себе целью разобраться, как гены кодируют белки и как сами белки складываются в сложнейшие формы, которые нужны для клеток. А за протеомикой начинается неимоверно сложная задача: понять, как эти молекулы участвуют в развитии тканей, органов и человека в целом [Фукуяма, 2004; Глазко, Чешко, 2007].

Сегодня генетика — одна из самых прогрессивных и перспективных отраслей науки, которая имеет целый ряд фундаментальных и перспективных прикладных направлений. Единство генетических программ

во всех клетках многоклеточного организма создает условия для создания генетических двойников — клонирования. Появились сообщения об успешных опытах по клонированию, проведенных в Англии, Шотландии, США. В результате клонирования получены клоны лягушек, овец, обезьян, мышей, лошадей и др. Научно-техническое направление, связанное с искусственными методами управления генетической информацией, получило название генной инженерии. Возможность внедрять в клетку желаемую генетическую информацию открывает самые широкие перспективы использования генной инженерии и геномного редактирования в медицине, животноводстве, сельском хозяйстве. Развивается новое направление в медицине — молекулярная медицина, появилось большое количество проектов под общим лозунгом «от молекулы до пациента». Расширение знаний в области ДНК способствует успехам медицины в различных областях клинического значения, которые без этого были бы невозможны.

Данные, полученные при расшифровке геномов, в том числе генома человека, могут принести прямую пользу: помочь предотвратить не проявившуюся еще болезнь, подобрать подходящую профессию и т.д. Но такая информация может послужить и причиной геномной дискриминации (при приеме на работу, в школу, при страховании, оказании медицинских услуг и пр.), поэтому доступ к ней должен быть строго ограничен, а исследования могут производиться только на добровольной основе. Это отражено в этических принципах медицинской генетики Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ).

Проект «Геном человека» был большой работой, финансируемой правительством Соединенных Штатов и других стран. Прямая реализация этого проекта началась в результате объединения двух государственных исследовательских программ США — Департамента энергетики и Национального института здоровья. Первоначально научным руководителем проекта был Дж. Уотсон, заявивший о стратегической цели этого объединения: «выяснить, что на самом деле представляет собой человек». Очевидно, что этим заявлением он, вольно или невольно, наметил линию этических и политических коллизий и противостояний, равно как и социально-психологических трансформаций, в последующей истории цивилизации. По объему финансирования и масштабам предпринимаемых усилий исследование генома человека зачастую сравнивали с двумя другими крупнейшими научно-исследовательскими и технологическими предприятиями — созданием ядерного оружия (Манхеттенский проект) и высадкой человека на Луне (проект «Аполлон»). Помимо США, значительную роль в его осуществлении сыграли специалисты Великобритании, Франции, Японии. Для координации исследований и усилий экспертов различных стран была создана международная организация.

Но уже в самом начале работы возник конфликт между двумя технологическими схемами определения структуры генома. Технологическая схема, принятая официальной организацией, осуществлявшей проект, предусматривала секвенирование сегментов ДНК, локализация которых в геноме (т.е. отнесение к некоторому району определенной хромосомы) была предварительно установлена.

После первых успехов администрация Национального института здравоохранения США подала заявку на регистрацию фрагментов ДНК как на интеллектуальную собственность. И тут нобелевский лауреат Джеймс Уотсон (кличка в Англии — честный Джим), глава проекта, выразил решительный протест. «Геном должен принадлежать всем!», — сказал он. В отличие от многих он оказался на высоте. В знак протеста против приватизации генных открытий Уотсон в 1992 г. подает в отставку с поста руководителя геномного проекта, выходит из генной игры. Точнее, его вынудили уйти в отставку. Однако к тому времени, а это важное обстоятельство, на фоне генного скандала было замечено далеко не всеми, что Бюро патентов и торговых марок США уже начало проводить регистрацию кусочков ДНК, устанавливая на них авторские права [Глазко, Чешко, 2007].

В апреле 1993 г. Уотсона заменил Френсис Коллинз. В 1997 г. название центра было изменено на Национальный институт исследований человеческого генома (NHGRI).

Первоначально планировалось завершить исследование лишь к 2005 г. Однако в 1997 г. у HGP (в последние годы ею руководит Фрэнсис Коллинз) неожиданно возник сильный соперник — Крейг Вентер [Venter, 2007]. Сын актрисы и бухгалтера, воевавший во Вьетнаме полевым медиком, после армии решил посвятить себя биохимии. Его компания «Celera Genomics» расположена в городке Роквилл, под Вашингтоном. Роквилл не без оснований называют ныне Силиконовой долиной генетики: тут действуют десятки разного рода частных биотехнологических центров. Самый удачливый из них «Celera». Эта компания уже принесла своему основателю состояние, оцениваемое в 350 млн долл. [Глазко, Чешко, 2007].

В 1998 г. Крейг Вентер и его фирма «Celera Genomics» запустили аналогичное исследование. Параллельный проект, завершённый несколько ранее международного. Основной объем секвенирования был выполнен в университетах и исследовательских центрах США, Канады и Великобритании. Целью собственного Вентерского 300-миллионного проекта было более быстрое и дешёвое секвенирование человеческого генома, чем в 3-миллиардном государственном проекте. Вначале «Celera» анонсировала, что она будет добиваться патентной защиты «всего лишь 200 или 300» генов. Потом фирма подала предварительные патентные заявки на 6500 целых или частичных генов. В марте 2000 г. президент США Билл Клинтон заявил, что последовательность генома не может быть запатен-

тована и должна быть свободно доступна для всех исследователей. «Геном человека» — наиболее известный из многих международных геномных проектов, нацеленных на секвенирование ДНК конкретного организма, благодаря усилию «честного Джима» (Уотсона) остался доступен для всего Человечества.

Начинал работу Вентер в рамках проекта «Геном человека» под руководством Джеймса Уотсона. Считается, что именно Вентер был инициатором идеи приватизации свежепрочитанных генов. Когда разразился скандал и это предложение было отвергнуто (1992), Вентер вышел из проекта и создал собственный альтернативный центр исследований — Институт исследований генома (TIGR). Вентер разрабатывает в TIGR новый способ обработки генетической информации. Новый метод позволил резко ускорить работу. Вентер публикует (1995) полный геном бактерии, вызывающей у людей менингит; геном, имеющий в своем коде 2 млн генных букв. Исследователь быстро входит в моду, на него сыплются заказы от частных и государственных фирм США. Расшифровав геномы полдюжины бактерий, он решается наконец сделать важнейший шаг в своей жизни — становится конкурентом «Human Genome Project». Для этой большой работы Вентер создает новую, уже чисто коммерческую, компанию «Celera Genomics» (*celera* на латыни означает «быстрая»).

Став главой частной фирмы, Крэйг Вентер, биолог-мультимиллионер, имевший в научных кругах репутацию «биохимического авантюриста», собрав в своей компании компьютерные мощности, способные поспорить даже с Пентагоном, бросает вызов своим коллегам по госсектору. И совершается чудо: он обогнал «Human Genome Project». И вот Вентер во всеуслышание объявляет, что всего-то за 200 млн долл., не взяв ни цента у американских налогоплательщиков, он берется полностью расшифровать геном человека, да еще и на пять лет раньше, чем это собиралась сделать команда HGP. Это заявление наделало много шума. Национальный институт здравоохранения США принял брошенный ему вызов. Накал страстей достиг апогея в 1999 г. В дело вынужден был вмешаться президент США. После одного из совещаний в Белом доме Билл Клинтон, говорят, написал своему советнику по науке Нилу Лэйну записку с лаконичным приказом: «Разберись — сделай так, чтобы эти ребята работали вместе». К финишу обе конкурирующие команды исследователей приходят одновременно.

Успех связан с тем, что Крэйг Вентер совместно с Марком Адамсом предложили технологию секвенирования, которая позволила резко сократить продолжительность первых стадий картирования генома и значительно снизить финансовые расходы. Его метод расшифровки генома получил название «секвенирование дробовиком» [Глазко, Чешко, 2007].

Идея техники фрагментирования ДНК (shotgun) пришла от использования алгоритма, который комбинировал информацию о последовательности от многих небольших фрагментов ДНК для реконструирования генома. Эту технику ввел Сенгер, чтобы секвенировать геном фага $\phi 174$, вируса, который инфицирует бактерии (бактериофаг); это был первый, еще в 1977 г. полностью секвенированный геном. В 1995 г. было показано, что данная техника применима к секвенированию первого бактериального генома (1,8 млн пар нуклеотидов) свободно живущего организма *Haemophilus influenzae* и первого генома животного (~100 млн пар оснований). Метод включает использование автоматизированных секвенаторов, что позволяет определять более длинные индивидуальные последовательности (в то время однократно получалось приблизительно 500 пар нуклеотидов). Пересекающиеся последовательности размером примерно в 2000 пар нуклеотидов «читали» в двух направлениях, это были критические элементы, создание которых повлекло за собой разработку первых компьютерных программ сборки генома, необходимых для реконструирования больших регионов ДНК, известных под названием контиги («contigs»). В 1998 г., заявление только что созданной компании «Celera Genomics» о том, что она собирается масштабировать метод фрагментирования ДНК на человеческий геном, в некоторых кругах было встречено скептически. Хромосомы делят вначале на миллионы частей, каждую часть секвенируют и определяют в ней последовательность генных букв. Техника фрагментирования разрывает ДНК на фрагменты различных размеров, от 2 до 300 тыс. пар нуклеотидов в длину, образуя то, что называется «библиотекой ДНК». Затем ДНК «читают» с помощью автоматического секвенатора кусками по 800 пар нуклеотидов длиной с обоих концов каждого фрагмента. Затем по пересекающимся участкам кусочки ДНК стыкуются на сверхмощных компьютерах: так постепенно формируются все большие фрагменты двойной спирали [Глазко, Чешко, 2007].

С помощью сложного алгоритма сборки и суперкомпьютера кусочки собирают воедино, после чего геном может быть реконструирован из миллионов коротких фрагментов длиной в 800 пар нуклеотидов. А потом их воссоединяют в хромосомы, постепенно воссоздавая общую карту генома человека. Вся эта работа — примерно то же, что разобрать по листочкам, скажем, Библию, а потом, не имея ни малейшего представления о последовательности страниц, попытаться ее вновь собрать [Глазко, Чешко, 2007)].

Успех как государственного, так и частного проекта зависел от новой, более высокоавтоматизированной капиллярной секвенирующей ДНК машины — Applied Biosystems 3700. Она прогоняла цепочки ДНК через капиллярную трубку, а не через плоский гель, как это делали в ранних моделях секвенаторов. Была разработана новая, более масштабная прог-

раммы сборки генома, ассемблера, который мог бы обрабатывать 30–50 млн последовательностей, требующихся для секвенирования всего человеческого генома. Компания использовала также и публично доступные данные из проекта «Геном человека», чтобы контролировать процесс сборки и ориентации, что поставило под вопрос независимость ее данных. Большинство из этих библиотек были созданы доктором Питером де Хонгом (Pieter J. de Jong). Ученые HGP использовали белые кровяные клетки из крови двух мужчин и двух женщин-доноров (случайно выбранных из 20 образцов каждого пола) — каждый донор стал источником отдельной библиотеки ДНК. Одна из этих библиотек (RP11) использовалась значительно больше, чем другие, по соображениям качества. Небольшой технический нюанс заключается в том, что мужские образцы содержали только половину количества ДНК, поступившего из X- и Y-хромосом в сравнении с другими 22 хромосомами (аутосомами); это происходит потому, что каждая мужская клетка (сперматозоид) содержит только одну X- и одну Y-хромосому, а не две, как другие хромосомы (аутосомы).

Команда Вентера секвенировала до 10 млн нуклеотидных пар в сутки. Обработку ДНК осуществляли 250 приборов, снабженных роботами. Они функционировали в автоматическом режиме и передавали всю информацию непосредственно в базы данных, где геновая информация систематизируется и аннотируется.

Ученые упрекали друг друга в недоделках и даже фальсификации. Так, в размещенных командой Вентера в Интернете расшифровках вездливые оппоненты нашли куски, принадлежащие не человеку, а мухе-дрозофиле [Глазко, Чешко, 2007].

Помимо США, участвовали генетики Китая, Франции, Германии, Японии и Великобритании. К 10 января 2000 г. [International Human, 2001] была установлена последовательность нуклеотидов, составляющая 90% всего генома, что соответствовало 97% общего количества генов, входящего в его состав. В июле 2000 г. было объявлено о завершении первой стадии картирования человеческого генома — определении последовательности большей части из составляющих его 3×10^9 нуклеотидных пар.

26 июня 2000 г. сразу две исследовательские команды — международный консорциум «Human Genome Project» (HGP, в его работе участвовали 16 лабораторий из шести стран: четыре ведущих исследовательских центра США, знаменитый Сэнджеровский центр в Англии и лаборатории во Франции, Германии, Японии и Китае) и частная американская коммерческая компания «Celera Genomics», на трансокеанской пресс-конференции торжественно объявили о расшифровке человеческого генома. Правда, в ученый спор пришлось вмешаться политикам — президент США Клинтон и премьер-министр Великобритании Блэр лично «дожали» упирающихся ученых. И вот Вентер и Коллинз, заключив временное пе-

ремирие, под аплодисменты присутствующих на торжестве ученых, политиков и бизнесменов объявили о том, что-де геном человека расшифрован в результате совместных усилий их команд.

Часть участников этой встречи находилась в Вашингтоне, где присутствовал Билл Клинтон, а часть — в Лондоне, здесь был и Тони Блэр. Общение проходило с помощью телеэкранов. Ученые доложили политикам и общественности, что наконец-то в основном (процентов на 97) завершено изучение текстов двойной спирали ДНК — главного материального носителя генетической информации в клетках человека. Заявили, что с помощью замечательных машин-автоматов (секвенаторов) два метра «текста» ДНК человеческих клеток, сотканных из миллиардов «кирпичиков»-нуклеотидов, «прочитаны». И что вся эта информация нанесена на карту 23 парных «отцовских» и «материнских» хромосом.

Генная гонка длилась не 15, как вначале предполагалось, а примерно 10 лет [[Глазко, Чешко, 2007].

В мае 2006 г. была пройдена другая веха на пути к завершению проекта, когда в журнале «Nature» была опубликована последовательность последней самой большой хромосомы — хромосомы 1. Существуют многочисленные определения «полной последовательности человеческого генома». Остаётся несколько регионов, которые считаются незаконченными: это центральные регионы каждой хромосомы, известные как центромеры, которые содержат большое количество повторяющихся последовательностей ДНК, как и теломеры, также состоящие из повторяющихся последовательностей, а также члены мультигенных семейств. Эти семейства кодируют белки, важные для иммунной системы. Большая часть остающейся ДНК — высокоповторяющаяся, и маловероятно, что она содержит гены, однако это останется неизвестным, пока они не будут полностью секвенированы.

Необходима оценка роли анонимной ДНК, эволюции геномов, различий между индивидуумами. Последовательность ДНК человека в базах данных доступна любому пользователю через Интернет. Национальный центр биотехнологической информации США и его партнёрские организации в Европе и Японии хранят геномные последовательности в базе данных, известной как GenBank. Процесс идентификации границ генов и других мотивов в необработанных последовательностях ДНК называется аннотацией генома и относится к области биоинформатики. Калифорнийский университет в Санта-Круз и другие организации поддерживают дополнительные данные и аннотации, а также мощные инструменты для визуализации и поиска в этих базах. Были разработаны компьютерные программы для анализа данных, они всё шире используются. Лучшие на сегодняшний день технологии аннотации используют статистические модели, основанные на параллелях между последовательностями ДНК

и человеческим языком, пользуясь такими концепциями информатики, как формальные грамматики. Другая цель проекта «Геном человека» — исследование этических, правовых и социальных последствий расшифровки генома. Важно исследовать эти вопросы и найти наиболее подходящие решения до того, как они станут почвой для разногласий и политических проблем. Все люди имеют в той или иной степени уникальные геномные последовательности. Поэтому данные, опубликованные проектом «Геном человека», не содержат точной последовательности геномов каждого отдельного человека. Это комбинированный геном небольшого количества анонимных доноров. Полученная геномная последовательность является основой для будущей работы по идентификации разницы между индивидуумами. Основные усилия здесь сосредоточены на выявлении однонуклеотидного полиморфизма.

Хотя главная секвенирующая фаза проекта «Геном человека» завершена, исследования изменчивости ДНК продолжаются в международном проекте ХарМар, цель которого состоит в идентификации структуры групп однонуклеотидного полиморфизма (SNP) (которые называются гаплотипами). Образцы ДНК для ХарМар получены от 270 человек: народа йоруба в Ибадане (Нигерия), японцев из Токио, китайцев из Пекина и французского источника «Centre d'Etude du Polymorphisms Humain» (СЕРН), который состоит из резидентов США, имеющих происхождение из Западной и Северной Европы. 4 сентября 2007 г. команда под руководством Крэйга Вентера опубликовала полную последовательность его собственной ДНК, впервые сняв покров тайны с шестимиллиарднонуклеотидной последовательности генома единственного человека. В будущем HGDP, вероятно, сможет получить новые данные в области контроля заболеваний, развития человека и антропологии. HGDP может открыть секреты уязвимости этнических групп к отдельным заболеваниям и подсказать новые стратегии для их преодоления. Он может также показать, как человеческие популяции адаптировались к этим заболеваниям.

Расоведение — раздел антропологии, изучающий человеческие расы, т.е. племена, народы, нации, и происхождение этих общностей. Изучает также классификацию рас, историю их формирования и такие факторы их возникновения, как селективные процессы, изоляция, смешение и миграции, влияние климатических условий и вообще географической среды на расовые признаки. При изучении движущих сил расообразования антропология вступает в тесный контакт с генетикой, физиологией, зоогеографией, климатологией, общей теорией видообразования. Изучение рас важно для решения вопроса о прародине человека современного вида, использования антропологического материала как исторического источника, освещения проблем систематики, главным образом малых систематических единиц, познания закономерностей популяци-

онной генетики, уточнения некоторых вопросов медицинской географии. Расоведение имеет большое значение в научном обосновании борьбы против расизма.

Одно из очевидных прикладных значений имело получение сортов трансгенных растений. В начале 90-х гг. XX в. фирма «Монсанто», ведущий новатор сельскохозяйственной биотехнологии, думала просить администрацию Буша-старшего о более строгих формальных правилах для генетически измененных продуктов, в том числе обязательной маркировке. При смене высшего руководства эта инициатива была отставлена на том основании, что нет научных свидетельств о риске для здоровья, и фирма ввела в практику ряд новых ГМО, которые были быстро приняты американскими фермами. Но компания не предусмотрела политический протест Европы против ГМО и суровые требования к маркировке, которую ввел в 1997 г. Европейский союз для импортируемых в Европу продуктов. «Монсанто» и другие американские фирмы считали, что для европейцев характерны ненаучность и протекционизм, но у Европы хватило сил, чтобы заставить американских экспортеров соблюдать свои правила.

Одной из причин повышенной осторожности по отношению к использованию трансгенных сортов растений, по-видимому, может быть изменение общественного отношения к научным разработкам, которые часто приводили к печальным последствиям. Историю регламентации фармацевтической промышленности двигали страшные события, такие как история с сульфаниламидным эликсиром и талидомидом.

Опрос общественного мнения во многих странах показывает, что общественность относится к ученым с гораздо большим уважением, чем к политикам. Тем не менее сама по себе наука не может определить цели, которым она служит. Наука может открывать вакцины и средства от болезней, но может и создавать инфекционные агенты; может открывать физику полупроводников — и физику водородных бомб. [Чешко и др., 2008; Глазко 2014 и др].

Скептики говорят, что никакие из этих усилий контролировать технологию в конечном счете к успеху не привели. Вопреки большим дипломатическим усилиям, которые Запад (и особенно США) вложил в нераспространение ядерного оружия, Индия и Пакистан стали шестой и седьмой державами, которые в 90-е гг. XX в. открыто провели ядерные испытания. Хотя использование атомной энергии электростанций снизилось после Три-майл-Айленда, Чернобыля и Фукусимы, сейчас оно снова на повестке дня в связи с повышением цен на ископаемое топливо и тревогой по поводу глобального потепления. Существует большой черный рынок наркотиков, органов для пересадки, плутония и почти любого запрещенного товара, который только можно назвать.

Ядерное оружие легче контролировать, чем биотехнологии, по двум причинам. Во-первых, разработка ядерного оружия стоит очень дорого и требует больших, заметных учреждений, отчего разработка его частными компаниями весьма маловероятна. Во-вторых, эта технология настолько очевидно опасна, что в мире быстро установился консенсус о необходимости ее контроля. Биотехнологии, наоборот, могут разрабатываться малыми и не столь богато финансируемыми лабораториями, и консенсуса по поводу ее рискованности нет [Глазко, Чешко, 2007]. [Фукуяма, 2004]

Расшифровка генома человека и генетическая дискриминация

Существуют многочисленные вопросы политического характера, возникающие в связи с наступлением биотехнологии, вызванные, например, завершением проекта «Геном человека» [Ридли, 2015; Тарантул, 2003], которые надо решать быстро. Среди них — вопрос о генетической дискриминации и тайне генетической информации [Фукуяма, 2004].

Генная «дактилоскопия» — не очень строгое название: ведь «дактилоскопия» в буквальном переводе с греческого означает «рассматривать пальцы». Но смысл использования термина заключается в том, что особенности строения ДНК людей позволяют разработать совершенно новые методы идентификации личности. На этот раз уже не по отпечаткам пальцев, а по «отпечаткам» генов. Для генного анализа достаточно капельки крови, нескольких волосинок луковиц или кусочка кожи: из какого бы участка человеческого тела ни выделили ДНК, генный «портрет» будет всегда одинаковым. «Портрет» — это особые «картинки» из множества горизонтально расположенных на рентгеновской пленке темных полосок, образующих лесенку. Эти полоски позволяют многое, например установить родство людей. Дети обязательно наследуют те или иные свойства отца и матери, следы же этого сходства можно отчетливо различить в соответствующих местах генного «паспорта» ребенка. И ошибиться тут невозможно: вероятность случайного совпадения набора полосок ничтожна — одна на сотню миллиардов. Поэтому на Земле с ее семимиллиардным населением двух разных людей, не близнецов, с одинаковыми ДНК не встретишь. А еще генная «дактилоскопия» дает возможность исследователям и практикам изучать наследственные болезни, проводить паспортизацию животных и растений, отбирать чистопородное потомство, различать болезнетворные бактерии, браться за решение эволюционных задач в генетике.

Генная «дактилоскопия» дала старт одному из самых противоречивых проектов XXI в. — созданию генетических паспортов, включающих образ-

чик биологического материала человека и его характеристики. В США еще в 1992 г. сотрудники Института патологии армии США стали собирать генетическую информацию в виде образцов крови для упрощения процедуры идентификации останков военнослужащих в случае их гибели. Так называемый ДНК-регистр, который обходится американской казне недешево (в 20 млн долл. ежегодно), рассчитан на 18 млн генетических образцов. В США и Великобритании обязательному ДНК-тестированию подвергаются не только преступники, но и подозреваемые в совершении преступления, в том числе и невиновные. Это помогает раскрывать тяжкие серийные преступления, но одновременно вызывает множество справедливых вопросов. Например, о возможности генетической дискриминации людей, поскольку соблюсти баланс между интересами общества и правами личности в данной ситуации очень трудно. Ключевые вопросы здесь — кто может иметь доступ к генетической информации о людях и кому принадлежит право собственности на эту информацию. Эти данные интересуют страховые компании, работодателей, правоохранительные и судебные органы, школы, агентства по усыновлению, армию. Злоупотребления? Абсолютно здоровому носителю патогенных генов могут отказать в приеме на работу или в страховании жизни.

Прогресс медицины — теперь это становится все очевиднее — во многом зависит от полноты наших знаний о генах. Они помогли бы разработать множество вакцин, защищающих человека от болезней, открыли бы новые перспективы для профилактики заболеваний. Сейчас медики идут по следам генов, которые могут оказаться причиной возникновения диабета, аллергии, язвы желудка и других болезней. Пришло и более зрелое понимание многих других хворей, имеющих наследственный характер. Их можно объяснить как «опечатки» в генетическом коде ДНК того или иного человека. Изучение генов, как надеются ученые, дало бы возможность производить вне организма многие виды белка, которые могли бы стать действенными лекарствами. Сюда входят десятки видов интерферона, энцефалины — естественные болеутоляющие, вырабатываемые в головном мозге человека протеины, ключевые белковые компоненты иммунной системы. И так далее, и так далее.

Деньги потребуются немалые. В США, например, стоимость полного цикла создания нового лекарства от исследований в лабораториях до появления на рынке составляет до полумиллиарда долларов. Выполнить подобный объем работ никакое государство, даже США, себе позволить не может. Подобное по плечу только гигантским транснациональным компаниям. Те, кто успел открыть то или иное действующее вещество и запатентовать его, могут продать права на использование этих знаний производящим новые лекарства суперкомпаниям. Биотехнологическим гигантам необходимо монопольное право на генетические разработки,

что дает реальную надежду на прибыль (точнее, сверхприбыль!), которая позднее окупит все затраты.

Полученная информация о геноме уже на настоящем этапе допускает следующие приложения.

Предупреждение и лечение заболеваний на основе генной терапии. Например, некоторые врожденные дефекты иммунной системы можно лечить с применением лимфоцитов, взятых у человека и подвергнутых генно-инженерной обработке *in vitro*, — так называемая генная терапия.

Идентификация человеческих индивидов по генетическим «отпечаткам пальцев». Это может способствовать розыску преступников или установлению истинного отца ребенка.

В этой связи необходимо остановиться на следующих этических проблемах.

1. В любой человеческой популяции имеется много индивидов — носителей аллелей генов, способных вызвать заболевания. Можно ли считать оправданной с моральной точки зрения идентификацию таких носителей путем введения обязательного генетического контроля за всеми гражданами той или иной страны?

2. Следует ли информировать человека о его генетическом предрасположении к тяжелым, хроническим, смертельным заболеваниям? Что, если эта опасность неотвратима, а болезнь неизлечима? При каких условиях человека можно допустить к подобной информации?

3. Дородовая диагностика генетических аномалий может стать рутинной процедурой. Здесь мы возвращаемся к уже затронутому вопросу, можно ли рекомендовать прерывание беременности, если установлено наследственное заболевание.

4. Знания о генетическом материале человека окажут серьезное влияние на культуру. Не приведет ли это к чисто биохимическому взгляду на человека?

5. В конце следует задать наиболее серьезный вопрос о том, может ли быть разрешено целенаправленное проектирование человеческих существ.

Для того чтобы решить все эти важнейшие биоэтические проблемы, необходимо, чтобы в человеческом обществе были созданы особые учреждения, занятые их исследованием [Глазко, Чешко, 2007].

Новая евгеника?

Вопрос о степени допустимости «генетической архитектуры» человека особенно тесно связан с евгеникой: велик соблазн «усовершенствовать» отдельного человека и все человечество. В генной терапии наиболее сложно провести грань между необходимой с медицинской точки зрения

коррекцией генетических дефектов и внесением в геном изменений, которые кажутся желательными родителям или обществу, особенно тоталитарному. Человечеству предстоит еще выработать правовые и моральные нормы в этой области, обеспечивающие адекватную защиту, с одной стороны, прав ребенка (в том числе еще не родившегося и даже не зачатого), а с другой — его родителей.

Многие из предвидимых выгод от проекта «Геном человека» связаны не с возможностью генной инженерии, а с геномикой, т.е. с пониманием функций генов, и протеомикой — функцией белков. Например, геномика позволит создавать лекарства для конкретных индивидуумов на заказ с целью снижения нежелательных побочных эффектов; она даст селекционерам растений куда более точные знания при проектировании новых форм.

Но, несмотря на завершение проекта «Геном человека», современная биотехнология сегодня очень далека от возможности модифицировать ДНК человека так, как возможно работать с ДНК кукурузы или мясного скота. Некоторые утверждают, что на самом деле мы никогда не придем к такой возможности и что дальние перспективы генетических технологий сильно преувеличены в шумихе, поднятой амбициозными учеными и биотехнологическими компаниями, ищущими быстрой выгоды. Изменение человеческой природы, по утверждению некоторых, невозможно сейчас и еще долго не будет стоять на повестке дня современной биотехнологии. Значит, нужны взвешенная оценка того, каких достижений можно от этой технологии ожидать, и ощущение препятствий, с которыми она может в конце концов встретиться.

Просто идентифицировать гены в геноме — еще не значит знать, что они делают. За последние 20 лет достигнут большой прогресс в поиске генов, связанных с муковисцидозом, серповидно-клеточной анемией, хореей Гентингтона, болезнью Тея—Сакса и т.д. Но это все в некотором смысле простые нарушения, в которых патологию можно проследить до кодирующей последовательности в одном гене. Другие же болезни могут вызываться множеством генов, взаимодействующих между собой сложным образом: некоторые гены управляют экспрессией (т.е. активацией) других генов; есть такие, которые сложным образом взаимодействуют со средой; некоторые гены дают два или более эффекта, а некоторые порождают эффекты, которые нельзя заметить до более поздних стадий развития организма.

Так означают ли эти ограничения генной инженерии и геномного редактирования, что какие бы то ни было осмысленные изменения человеческой природы в обозримом будущем не рассматриваются? Есть несколько причин проявить осторожность в высказывании такого решения раньше времени.

Первая связана с потрясающей и во многом непредвиденной скоростью научного и технического прогресса в науках о жизни. В конце 1980-х гг. среди генетиков царило твердое согласие относительно того, что невозможно клонировать млекопитающее из соматических клеток взрослой особи, — эта точка зрения исчезла после появления Долли в 1997 г. В середине 1990-х гг. генетики предсказывали, что проект «Геном человека» будет завершен где-то между 2010 и 2020 гг. Фактическая дата, когда новые и весьма автоматизированные программируемые машины закончили работу, — июль 2000 г. Невозможно предсказать, какие новые пути уменьшения сложности стоящей задачи возникнут в последующие годы. Вот пример: мозг есть архетип так называемых сложных адаптивных систем, т.е. систем, созданных из многочисленных агентов (в данном случае — нейронов и других клеток мозга), действующих по относительно простым правилам, но дающих весьма сложное адаптивное поведение на уровне системы. Любая попытка моделирования мозга с использованием лобовых — двумерных методов, т.е. таких, которые пытаются воспроизвести все миллиарды нейронных связей, почти наверняка обречена на провал. С другой стороны, сложная адаптивная модель, пытающаяся моделировать сложность на уровне системы, имеющей многомерную иерархию, изменения на разных уровнях которой может приводить к появлению разных новых свойств, может иметь куда больше шансов на успех. То же самое может оказаться верным и для взаимодействия генов.

То, что многофункциональность и многоуровневость взаимодействия генов весьма сложны, не значит, что все попытки генной инженерии человека надо попридержать, пока мы в этой сложности не разберемся. Технология никогда не развивалась таким образом. Новые лекарства изобретаются, испытываются и утверждаются все время, хотя производители и не знают точно, каков именно механизм получаемого эффекта в деталях. В фармакологии часто бывают случаи, когда побочные эффекты годами остаются незамеченными или когда лекарство взаимодействует с другим лекарством или каким-то состоянием организма совершенно непредвиденным образом. Генные инженеры сначала займутся простыми проблемами, а потом начнут восхождение по лестнице сложности. Хотя очень вероятно, что поведение высшего порядка есть результат сложного взаимодействия многих генов, мы не можем с полной уверенностью утверждать, что это именно так. Мы можем наткнуться на относительно простые генетические вмешательства, которые дадут колоссальные изменения поведения.

Вопрос об экспериментах на человеке — серьезное препятствие для быстрого развития генной инженерии, но никак не непреодолимое. Как и при испытании лекарств, сначала почти весь риск возьмут на себя животные. Виды риска, приемлемые при попытках применения на лю-

дах, зависят от предвидимых выгод: к лечению хорей Гентингтона, которая в одном случае из двух приводит к слабоумию и смерти больных и их потомков, несущих поврежденную аллель, будут относиться совсем не так, как к повышению тонуса мышц или увеличению размера груди. Сам по себе тот факт, что могут возникнуть непредвиденные побочные эффекты, проявляющиеся через долгое время, не остановит поиска генетических средств лечения, как не остановил раньше развитие медицины.

Однако существуют прецеденты, когда новая медицинская технология сказывалась на уровне популяции в результате миллионов индивидуальных решений [Чешко, Кулиниченко, 2004]. Не надо далеко ходить, достаточно вспомнить современную Азию, где сочетание дешевого УЗИ и доступности абортс привело к резкому сдвигу соотношения полов. Например, в Корее в начале 1990-х гг. рождалось 122 мальчика на каждые 100 девочек при нормальном соотношении 105 на 100. Это же соотношение в Китайской Народной Республике лишь чуть меньше: 117 мальчиков на 100 девочек, а кое-где в северной Индии оно сдвинуто еще сильнее. Это привело к дефициту в Азии девочек, составившему, по оценке экономиста Амартии Сен, в определенный момент 100 млн. Во всех этих странах аборт по выбору пола младенца незаконен, но, несмотря на давление правительства, желание каждой родительской пары иметь наследника мужского пола привело к перекосу соотношения полов.

А сильно сдвинутое соотношение полов может дать серьезные социальные последствия. Ко второму десятилетию XXI в. Китай столкнулся с ситуацией, когда для одной пятой мужского населения брачного возраста не найдется невест. Трудно себе представить лучший источник беспорядков, если вспомнить о предрасположенности свободных молодых мужчин к риску, бунту и преступлениям. Конечно, будут и компенсирующие плюсы: дефицит женщин позволит им более эффективно управлять процессом образования пар, что приведет к более стабильным семьям у тех, кому удалось жениться.

Никто не знает, станет ли когда-нибудь генная инженерия так же дешева, как УЗИ и аборты. Многое зависит от того, какие будут предлагаемые ею выгоды. Но если биотехнология будущего создаст, например, способ безопасного и эффективного рождения более умных детей, то ставки тут же поднимутся. При этом сценарии вполне вероятно, что развитое, демократическое и процветающее государство снова войдет в евгеническую игру, на этот раз не препятствуя размножению людей с низким *IQ*, но помогая обездоленным поднять *IQ* — свой собственный и своих потомков. В таких обстоятельствах государство постарается гарантировать, что технология будет дешевой и всем доступной. Вполне вероятно, что в этот момент и наступит эффект на уровне популяции.

То, что генная инженерия даст непланируемые последствия и что она, быть может, не даст тех последствий, на которые многие надеются, — не аргумент в пользу того, что никто не попытается ее осуществить. *История прогресса науки и техники изобилует технологиями, имевшими такие долгосрочные последствия, что их пришлось переделывать или даже отказываться от них.* Например, в развитых странах уже порядка 40 лет не строят больших гидроэлектростанций, несмотря на периодические энергетические кризисы и спрос на энергию. Причина в том, что после прорыва строящейся плотины ГЭС «Хетч Хетчи» в 1923 г. и «Тенниси Вэлли Осорити» в 1930-х гг. резко усилилось влияние экологического сознания и стали учитывать долговременные экологические последствия, заложенные в цену энергии ГЭС. Если сегодня посмотреть квазисталинистские фильмы, посвященные героическому строительству гидроэлектростанций, странное чувство возникает от этого прославления победы человека над природой и полного пренебрежения экологическими последствиями.

Генная инженерия и геномное редактирование у человека — это лишь один из путей в будущее и самая дальняя стадия в развитии биотехнологии. Сегодня мы не умеем сколько-нибудь значительно изменять человеческую природу, и может оказаться, что никогда и не научимся. Но две вещи следует сказать.

Даже если до генной инженерии на уровне вида остается 25, 50 или 100 лет, все равно она будет иметь куда более серьезные последствия, чем прочие направления развития биотехнологий. Причина состоит в том, что природа человека есть фундамент наших представлений о справедливости, морали и хорошей жизни и все это изменится с распространением новой технологии.

Факт культурной эволюции заставляет многих современных мыслителей считать биологическую пластичность человека практически бесконечной: имеется в виду, что человек может быть сформирован средой так, что приспособится к любым технокультурным реалиям. Именно отсюда возникает современное предубеждение против понятия о биологической природе человека и его поведения. Многие из тех, кто верил в социальное конструирование поведения человека, надеялись с помощью социальной инженерии создать справедливые или честные общества в согласии с некоторыми абстрактными идеологическими принципами. Начиная с Французской революции, мир сотрясали политические утописты, стремящиеся создать рай на земле путем резкой перестройки самых основных общественных институтов — от семьи и частной собственности до государства. Эти движения достигли своего пика в XX в., когда произошли социалистические революции в России, Китае, на Кубе, в Камбодже и других странах, фашистская — в Германии и т.д.

К концу XX столетия практически все эти эксперименты провалились и на место утопий пришли усилия создать или восстановить равно современные, но менее радикальные политически либеральные демократии. Одна из важных причин такой конвергенции мира к либеральной демократии связана с упорством человеческой природы. Дело в том, что, хотя поведение человека пластично и изменчиво, эти свойства имеют некоторый генетический предел: в какой-то момент глубоко укорененные природные инстинкты и модели поведения восстают и подрывают самые лучшие планы социальной инженерии. Многие социалистические режимы отменили частную собственность, ослабили семью и потребовали от людей альтруизма по отношению к человечеству в целом, а не к ближайшему кругу семьи и друзей. Но эволюция не выковала у человека подобного поведения, и эти системы развалились. На каждом повороте индивидуумы сопротивлялись новым институтам, и когда социализм рухнул после падения Берлинской стены в 1989 г., повсюду восстановились прежние, более привычные модели поведения с дискриминацией, делением на бедных и богатых.

Политические институты не могут полностью отменить природу человека и добиться успеха. История XX столетия была определена двумя страшными крайностями — нацистским режимом, который утверждал, что социум есть биология, и коммунизмом, который биологическую наследственность поведения практически ни во что не ставил. Либеральная демократия избегает обеих этих крайностей и формирует политику согласно возникшим в результате генно-культурной коадаптации нормам справедливости и без лишнего вмешательства в естественное поведение.

Тем не менее уже возможно, что благодаря развитию биотехнологий постепенно возникнет биологическое неравенство: богатые смогут стандартным образом отбирать эмбрионы для имплантации и таким образом обеспечивать рождение «улучшенных» детей. Уже сейчас по внешнему виду и интеллекту юноши или девушки все четче определяется их социальное происхождение. В то же время благодаря средствам массовой информации люди, не отвечающие социальным ожиданиям, все чаще обвиняют в этом не себя, а генетический выбор своих родителей. Человеческие гены пересаживают животным и даже растениям — для научных целей и для создания новых медицинских препаратов; животные гены добавляются некоторым эмбрионам, чтобы улучшить их физическую выносливость и сопротивляемость болезням. Ученые пока не решаются изготавливать полномасштабные химеры, полулюдей-полуживотных, но уже сейчас многие молодые люди начинают подозревать, что их товарищи по школьной скамье, сильно от них отстающие, генетически не вполне люди [Фукуяма, 2004; Глазко, Чешко, 2007].

Гуманистическое измерение интеграции генетики и биотехнологии в жизнь современного человечества — *биоэтика* — *этика выживания человечества*, научная дисциплина, предметом исследования которой являются этические дилеммы и коллизии, возникающие в результате развития биотехнологии — приобретения человеком возможности контролировать и изменять течение глобального процесса эволюции жизни во Вселенной.

Для естествознания в целом и для биологии в особенности биополитика и биоэтика есть новые междисциплинарные области науки на грани между естественным и социогуманитарным знанием. В силу ряда факторов (развитие генетики и биотехнологии — только один, хотя и наиболее важный) происходит биополитизация современного мира.

В этом же русле лежит и стремление идеологов биоэтического движения в США представить биоэтику как естественное развитие и продолжение политико-философской традиции, восходящей к отцам-основателям, прежде всего к Томасу Джефферсону [Lower, 2004].

Систему универсальных этических принципов взаимоотношений разумных индивидов, относящихся к одной и той же генеральной совокупности — человечеству, Хабермас обозначает категорией «*этика вида*». Именно она позволяет любой личности идентифицировать себя как члена общества, индивида, входящего в ту совокупность существ, которая именует себя человечеством [Хабермас, 2003]. Этика вида основывается на том, что все индивидуумы имеют некую общую, спонтанно возникшую основу, независимую от постороннего вмешательства. Именно благодаря этому субъекты социальной коммуникации способны смотреть на своих партнеров как на свободных автономных личностей. В рамках *этики вида* решение рассматриваемой здесь дилеммы, по Хабермасу, заключается в одобрении любой генно-инженерной манипуляции, способной уменьшить страдания эмбриона — носителя наследственной патологии [Хабермас, 2003]. На тех же основаниях любые попытки изменить *нормальный* человеческий геном в целях усовершенствования его обладателя расцениваются как несовместимые с *этикой вида*, поскольку разрушают генетическое единство человечества.

Тем не менее накоплено множество данных о природном равенстве людей. Мы весьма различаемся как индивидуумы, но обладаем общей человеческой сущью, той, которая открывает каждому человеку возможность общаться с любым другим человеком на планете и входить с ним в некие моральные отношения. Политический вопрос, который поднимает биотехнология, таков: *что случится с политическими правами, если мы действительно сможем вывести две разные породы людей* [Фукуяма, 2004; Глазко, Чешко, 2007]?

Демографическая ситуация, продолжительность жизни и эволюция культуры

Многие достижения медицины улучшили качество жизни пожилых людей, но многие оказали и обратное действие, удлинив лишь срок жизни и повысив социальную зависимость. Мы уже говорили: быстрый рост числа больных болезнью Альцгеймера в развитых странах — прямой результат повышения ожидаемой продолжительности жизни, продления телесного здоровья без продления сопротивляемости этой страшной неврологической болезни.

На самом деле медицинская технология открыла два периода старости. Первый продолжается от 65 лет и иногда за 80, и человек может ожидать в этом периоде здоровой и активной жизни. Оптимистические разговоры о продлении жизни относятся в основном к этому периоду; и действительно, появление новой фазы жизни для большинства людей есть достижение, которым современная медицина вполне может гордиться. Второй — фаза старости — создает больше проблем. В этот период, в который большинство людей сейчас входит после 75–80 лет, способности атрофируются и человек возвращается в детство, становится зависимым. Об этом времени человек не любит думать, тем более его переживать, поскольку оно сильно противоречит идеалам личной самостоятельности, весьма для человека дорогим. Социальный эффект возрастающей продолжительности жизни будет зависеть от соотношения численности этих двух групп, а оно зависит, в свою очередь, от «равномерности» будущего прогресса продления жизни. Лучший сценарий таков, что новые технологии будут одновременно отодвигать все процессы старения: например, будет открыт общий источник старения всех клеток тела на молекулярном уровне и замедление этого процесса будет тоже равномерным для всех клеток тела. Отказ различных систем будет происходить в одно и то же время, только позже, и численность старых людей категории I будет выше, а категории II — ниже. Наихудший сценарий — крайне неравномерный прогресс, в котором, например, будет найден способ поддержания здоровья тела, но невозможно будет остановить развитие старческого слабоумия. Работы со стволовыми клетками могут дать способы выращивания новых частей тела и органов, но если не будет параллельно найдено средство от болезни Альцгеймера, эта дивная новая технология лишь позволит большему количеству людей существовать растительной жизнью дольше, чем это возможно сейчас.

Если молекулярная биология не даст способа отодвинуть старость, то нет причин думать, что дальнейший медицинский прогресс будет идти равномернее, чем это было раньше.

И еще. Сдвиг демографического равновесия в область, где большинство составят люди из категорий I и II, будет иметь весьма глубокие по-

следствия для самого смысла жизни и смерти. Дело в том, что почти во всей истории человечества до настоящего момента жизнь человека и его самосознание были связаны либо с размножением, т.е. наличием семьи и воспитанием детей, либо с зарабатыванием средств на содержание себя и своей семьи. Семья и работа опутывают человека паутиной общественных отношений, над которыми у него часто почти нет контроля и которые являются источником борьбы и забот, но также — огромного удовлетворения. Учась соответствовать этим отношениям, человек вырабатывает и мораль, и характер. У людей же категорий I и II связи как с семьей, так и с работой окажутся весьма ослаблены. Они будут вне репродуктивного возраста, который привязывает в первую очередь к предкам и потомкам. Некоторые люди категории I могут захотеть работать, но обязанность работать и всякого рода социальные связи, порождаемые работой, будут во многом заменены занятиями по собственному выбору. Люди же из категории II не работают, и поток обязательств и ресурсов будет для них уж точно однонаправленным: все к ним и ничего от них.

Изменится и отношение людей к смерти. К ней могут начать относиться не как к естественному и неизбежному аспекту жизни, а как к предотвратимому злу вроде полиомиелита или кори. Если так, то принятие смерти окажется глупым выбором, а не чем-то, к чему надо относиться с достоинством и стойкостью. Будут ли люди по-прежнему согласны жертвовать жизнью ради других, если эта жизнь может длиться бесконечно, или оправдывать жертву жизнью со стороны других? Не станут ли они отчаянно цепляться за жизнь, предлагаемую биотехнологией? А может быть, перспектива бесконечно пустой жизни окажется попросту невыносимой? И какая судьба постигнет моральный императив «не убий» [Фукуяма, 2004; Глазко, Чешко, 2007]?

Сомнений нет: в XXI в. на Земле возникнет первая плеяда бессмертных, людей, способных с помощью биотехнологии, богатства и власти обеспечить себе любой срок жизни. И возможно, новоиспеченные бессмертные не будут старцами, теми желчными старичками, которых высмеивал Свифт в своем «Гулливере». Продукт генных инженеров, новые, победившие годы счастливицы будут не только мудры, но и вечно юны. Их будет отличать гибкость членов, густота волос, легкая походка, живость реакций...

Человек как разумное существо выступает не как средство, а как цель для других разумных существ. Его можно убедить посредством логических аргументов, адресованных его сознанию, но его сознанием нельзя манипулировать посредством технологии. Отсюда *одним из наиболее важных типов «опасного знания» выступают те области фундаментального естествознания и гуманитарных дисциплин, на базе которых становится возможным технологическое манипулирование личностью* —

прямое (*психосоматическое программирование*) и косвенное (*генетическая инженерия*).

Выражение «*эволюция, управляемая человеком*» введено в научную лексику Николаем Вавиловым [Глазко, Чешко, 2007]. Точнее: «Селекция представляет собой эволюцию, направляемую волей человека» [Вавилов, 1966]. Чарльз Дарвин устранил Творца из объяснения эволюции, показал, что естественный процесс может вести к тем же самым результатам, что и творческая, созидательная деятельность. Мысль Вавилова идет в обратном направлении — от естественного к искусственному: Человек принимает на себя обязанности Бога-Творца, берет на себя ответственность за судьбу Вселенной. «*Человечество — это эволюция, осознавшая самое себя*», — выразился когда-то Джулиан Хаксли. Теперь приходится добавить — *эволюция, вставшая перед выбором: «куда идти?»*.

Эволюция живых организмов и эволюция культуры имеют нечто общее. И в том, и в другом случае *эволюция есть процесс изменения информации, обеспечивающей собственное воспроизводство и воспроизводство материальных носителей информации* [Чешко, Глазко 2009]. В распоряжении людей появилась новая информация, которая существенно повышает их шансы на выживание и продолжение рода, т.е., используя ее, они могут иметь более многочисленное потомство, которому и передадут свое знание. Распространение информации в этом случае не ограничено биологическим размножением, что и объясняет на порядок более высокие темпы культурной эволюции.

Автономизация техногенеза означала появление двух атрибутов, обеспечивающих, во-первых, собственный, специфический механизм хранения, передачи, воспроизводства и трансляции информации, не нуждающийся в постоянном присутствии «человеческого фактора» (компьютерная техника), и, во-вторых, способности менять социобиологическую природу человека, делая ее более «адекватной» реалиям современной цивилизации. В частности, через генетические и репродуктивные технологии.

Некоторые считают это естественным результатом эволюционного процесса, предвестником перехода от человека к иным формам Разума, чье возникновение станет возможным в результате сочетания новейших компьютерных и генетических технологий.

Однако последствия актуализации именно этого сценария будущей эволюции человечества будут равносильны генно-культурной катастрофе.

Установка XX в. на «покорение природы» в конечном итоге имеет своим естественным результатом изменение биосоциальной природы человека [Вейдле, 1996].

Западной ментальности присуща четкая дихотомия субъект — объект. Объект — все то, что выступает предметом технологии, субъект таковым

быть не может в принципе. Это разделение очевидным образом имеет аксиологическую природу, выявленную еще Иммануилом Кантом [Фукуяма, 2004; Глазко, Чешко, 2007]. Интеллектуально-информационные ресурсы становятся для производства и экономической деятельности не менее важными, по крайней мере, чем ресурсы материальные и энергетические. Современная экономическая система превращается в экономику знаний.

Для эволюции сознания последствия оказываются еще более значительными. Сознание (индивидуальное и коллективное) интегрируется в своеобразное информационное облако, соединяющее и разъединяющее его с реальностью. Эта вторичная, полученная от других лиц информация в результате становится инструментом формирования и манипулирования сознанием (психосоматического программирования). Нам все меньше убеждают с помощью логических аргументов, нам все в большей степени внушают определенные поведенческие стереотипы. На этом основываются все социальные — политические и рекламные — технологии.

Технология делает нашу генетическую конституцию и содержание нашего сознания предметом рационалистического контроля и управления. Результат развития обоих видов информационных технологий оказывается единым: технологии манипулирования сознанием (изменения социокультурного кода) и технологии изменения генетического кода являются одновременно технологиями управляемой эволюции.

Второе их название — *НИ-НИМЕ-технологии* (по аналогии с *НИ-ТЕСН-технологиями*). Объектом *НИ-ТЕСН-технологий* является внешний мир, Макрокосм, предметом *НИ-НИМЕ-технологий* — в конечном итоге сам субъект, Микрокосм [Чешко, Глазко 2009].

Однако для «постороннего наблюдателя» сопряженной эволюции (био-, социо и техногенеза) такой субъект все же существует. Наука и технология навязывают социуму и менталитету стереотипы, которые связаны не с внутренними закономерностями развития общества и культуры, а с логикой научно-технологических инноваций. При этом именно генетические технологии — технологии управляемой эволюции — способны стать и становятся (пока в значительной мере — виртуально, т.е. как элемент ментальности современного человека) предпосылкой глобального манипулирования человеческой природой, способной вызвать уже не трансформации, а необратимый разрыв культурной и ментальной традиций.

В этом контексте категории манипуляции и биовласти могут рассматриваться как синонимы. Происходящее («прогресс науки и технологии») выглядит для индивидуума как результат воздействия некой безликой силы, предписывающей ему (добровольно или насильственно)

модусы поведения и формы отправления биологических функций. Биовласть деперсонализируется, отождествляется с обезличенным «существующим порядком вещей», *технология становится псевдосубъектом манипулирования сознанием и биосоциальной природой человека*. Как ответная реакция внутри социума развивается негативистское восприятие науки и технологических инноваций, складывается система административно-правовых и финансовых ограничителей. Назначение последних — социальная канализация развития фундаментальных исследований и создаваемых на их основе технологических инноваций. Эффективность их не так уж велика, но они в настоящее время — единственный изобретенный человечеством способ контроля, дающий надежду на то, что эволюция, управляемая человеком, не станет непредсказуемой с точки зрения изначальных целевых установок, которые, в свою очередь, диктуются социокультурной традицией. Без такой системы предохранителей и противовесов технология управляемой эволюции обратится в свою противоположность.

Приближение духовной эволюции человечества к точке перелома в эволюции мировоззренческих, этических, а впоследствии и ментальных оснований цивилизации прогнозируется многими экспертами — философами, социологами, естествоиспытателями. Действительно, по мнению многих генетиков и врачей [Szente, 2000], развитие этих областей человеческой деятельности демонстрирует все более расширяющуюся пропасть между традиционными религиозными и философскими постулатами, которые в течение тысячелетий были глубинными элементами ментальности (свободная воля, например) и новыми фактами, установленными генетикой (генетическая предрасположенность к тем или иным поведенческим реакциям, включая криминальные и антисоциальные).

Вектор и траекторию трансформации существующей и формирования новой эволюционной стратегии человеческого общества определит исход взаимодействия нескольких культурно-психологических парадигм, выполняющих функции ментальные доминант и, следовательно, определяющих модусы поведения человека в современном мире. Можно сказать, что познавательная модель представляет собой некий образ, инвариантную структуру, по аналогии с которой строятся теоретические концепции, объясняющие сущность объектов познания — планет и живых существ, молекул и атомов, клеток и популяций.

И.К. Лисеев выделяет восемь основных познавательных моделей [Лисеев, 2001], сформированных наукой к концу XX в., — организменную, семиотическую, механическую, статистическую, организационную, эволюционную, системную и синергетическую (модель самоорганизации).

Доминантами в истории фундаментальной генетики выступали статистическая (мир как совокупность балансов, стохастический баланс),

механическая (мир как механическая машина, подчиняющаяся линейным уравнениям), эволюционная. С возникновением молекулярной генетики такой доминантой стала семиотическая познавательная модель — мир как текст, написанный на неизвестном языке, который необходимо расшифровать. А развитие генетических, психологических и компьютерных технологий привело, в свою очередь, к существенной реинтерпретации и гибридизации семиотического и механического понимания жизни — организм как самовоспроизводящийся процессор, действующий в результате взаимодействия двух типов программ — внутренней (генетической, обеспечивающей самовоспроизводство и функционирование материального носителя) и социокультурной. Такое понимание открывает возможность как для манипулирования человеческой личностью, так в перспективе — его психосоматического конструирования [Кордюм, 2001] путем модификации обеих программ — генетической (генотерапия, клонирование, предимплантационная диагностика и пр.) и социокультурной (нейролингвистическое программирование, например).

Политический эгалитаризм — естественные права человека: «Все люди созданы равными, человек — сам творец своей судьбы».

Генетический детерминизм — наследственно-родовая преддетерминация: «Наша судьба записана в наших генах» (Дж. Уотсон). Если говорить о более древней и общей установке, то в качестве их вербального эквивалента оказываются киплингское «Запад есть Запад, Восток есть Восток, и с места они не сойдут» и «Не властны мы в самих себе» Баратынского.

Технократический конструктивизм — утопический активизм: «Природа не храм, а мастерская, и человек в ней — работник» (у И.С. Тургенева так формулирует свое кредо Базаров).

Экоцентризм: «Здоровье природных систем должно стать самой первой заботой» (Г. Снайдер).

В массовом сознании, «освобожденные» от контекста, они становятся мифологемами, поскольку и сами научные теории, и философские и политические доктрины, становясь элементами массовой культуры, трансформируются в разновидности вторичного (социокультурного) мифа, и развитие науки и технологии оказывается катализатором процесса современного мифотворчества [Щедрин, 2003].

Очевидно, что между эгалитаризмом и генетическим детерминизмом наличествует явная негативная, а между генетическим редукционизмом и технократическим конструктивизмом — позитивная ассоциации.

В то же время менталитет современного человека включает в себя достаточно амбивалентные и размытые отношения между культурно-психологическими парадигмами — эгалитаризм — экоцентризм, экоцентризм — утопический активизм, экоцентризм — генетический редукцио-

низм, чтобы стало очевидным, что точка бифуркации, за которой сценарий будущего утрачивает поливариантность и становится однозначно детерминистским, еще не пройдена.

Одиозная ассоциация в треугольнике политический эгалитаризм — генетический редукционизм — технократический конструктивизм, канализирующая социальную эволюцию в направлении тоталитарного политического режима, нашла свое художественное отображение в жанре антиутопии. «Дивный новый мир» Олдоса Хаксли можно было бы считать поразительным предвидением будущего, отдаленного на 80–100 лет вперед, если бы не исторические реалии начала 1930-х гг. — мощного евгенического движения в странах западной демократии и уже ясно прослеживающиеся контуры нацистского переворота в Германии, в основе которого — уникальный, как тогда казалось, случай в новой истории — лежала идеология, в значительной мере опиравшаяся на социальную интерпретацию менделевской генетики [Рауне, 1995.; Шахбазов, Чешко, 2001 и др.]. История евгеники и расовой гигиены в соответствии с приведенной в начале статьи классификацией относится к проявлениям «опасного знания» четвертого рода — непосредственному (минуя цепь последовательных трансформаций мир идей → технология → условия материальной жизни → ментальность → поведенческие модусы) воздействию научных идей на неподготовленное к ним этически и юридически общество — мир идей → ментальность → поведенческие модусы.

По утверждению В.С. Степина, «объективно-истинное объяснение и описание применительно к “человекоподобным” объектам не только допускает, но и предполагает включение аксиологических факторов в состав объясняющих положений» [Степин, Кузнецова, 1994]. Соответственно происходит вращение экстранаучных, аксиологических элементов не только в ментальность научного сообщества и в ткань фактуально-смысловых континуумов, но и в содержание конкретно-научных теорий. Как следствие — становится возможным отторжение тех научных фактов, которые резко противоречат ценностным приоритетам исследователя, и переориентация направлений эволюции фундаментальной науки в соответствии с доминирующими этическими установками.

В результате формируется преобладание экономических интересов над гуманитарными (этическими и социальными). Технология и экономика из средства обеспечения человеческого существования превращаются в его цель. В терминах эволюционной теории — технологическое развитие становится не только автономным, но и преформирует процессы антропо- и социогенеза. Аналогичный пример из отечественной практики — использование схематического изображения процесса сингамии (слияния сперматозоида и яйцеклетки) в рекламе популярной среди молодежи, специализирующейся на музыкальных программах радиостанции.

Таким образом, катализаторами процесса образования ментальных ассоциаций служат политизация и коммерциализация науки и технологии.

Кажется интуитивно очевидной большая адекватность «восточной» стратегии реалиям современной фазы развития западной цивилизации. Проблема в другом — насколько безболезненным будет процесс смены стратегий? Будет ли он сопровождаться внезапным радикальным сломом существующих систем ментальных установок, ценностных приоритетов, а следовательно, политическими конфликтами, социальными потрясениями и т.п.? Собственно говоря, решение этой — социологической — проблемы лежит в плоскости методологии: насколько совместимыми в концептуальном отношении являются обе стратегии?

Определим отношение доктрины «опасное знание» относительно рационалистической концепции науки как центрального элемента адаптивной стратегии техногенной цивилизации. Лежащий на поверхности ответ об их оппозиции по отношению друг к другу, на наш взгляд, неверен.

Для человека эпохи становления техногенной цивилизации угроза его существованию и благополучию находилась вовне как в индивидуальном, так и социально-групповом отношении. Доминирующий стереотип современного восприятия риска есть локализация его первопричины внутри социума — в познавательной и технологической деятельности всего общества и отдельных личностей. Но рационалистическая логика технологического детерминизма не позволяет смотреть на опасности, возникающие в результате человеческой деятельности, как на иррациональный атрибут человеческой природы *per se*, некий «первородный грех» цивилизации. Происходит инверсия доминирующего вектора познавательной и преобразующей активности *Homo faber*, усиление значимости саморефлексии в исследовательской деятельности. Новая черта постклассической науки, не могущей уже отвлекаться от аксиологической оценки последствий собственных открытий. Дж. Холтон как один из признаков классической науки выделяет неререфлексивность, отсутствие интереса к поискам смысла собственной деятельности [Холтон, 2000].

Отсюда стремление обнаружить и устранить те особенности в поведенческих модусах и их материальную или ментальную основу человечества, которые ведут к социальному риску как следствию научно-технического прогресса. Соответственно, три направления рационального поиска источника устранимых цивилизационных рисков можно резюмировать следующим образом:

- 1) реконструкция генома и психики человека, устранение и замещение тех его элементов, которые в новых социоэкологических условиях снижают адаптивный потенциал, и реконструкция геномов компонентов экологических систем всех уровней сложности (генетическая инженерия и нейролингвистическое программирование);

2) эволюционная или революционная реконструкция системы социально-этических, социоэкономических и политических приоритетов и соответствующих ей идеологических парадигм, которая позволит снять антагонизм между деятельностью человечества в социоэкологической среде и самой этой средой (биоэтика, экологическая этика);

3) реконструкция методологии науки, равно как и функций соответствующих социальных институтов — научного сообщества прежде всего (концепция «опасного знания»).

Первая стратегия преодоления «общества риска» в целом лежит целиком в рамках адаптивной стратегии техногенной цивилизации. И ранее стремление к технологическому преобразованию не только окружающего мира, но и собственной природы было достаточно отчетливым, однако ситуация постнеклассической науки в «обществе риска» характеризуется двумя принципиально новыми чертами.

Во-первых, временная глубина такого воздействия, по крайней мере потенциально, выходит за рамки одного поколения и уже в силу этого становится необратимой. Во-вторых, человек как объект технологии уравнивается «в правах» с остальными объектами природы — живой и неживой; вопреки известному постулату И. Канта, становится не целью, а всего лишь средством технологии. Наибольшим испытаниям в этом случае подвергаются принципы гуманизма, а следовательно, сама идеология техногенной цивилизации.

Второй и третий варианты решения проблемы подвергают наибольшему прессингу стереотипы прогрессизма и активизма — две другие несущие конструкции стиля мышления техногенной цивилизации. В конечном итоге распространение норм этики на экологическую среду и биологические системы, равно как и внесение ценностных компонентов в методологию и практику исследовательской деятельности, означает ограничение технологической и культурной экспансии техногенной цивилизации.

Итак, эволюционная трансформация адаптивной стратегии, а следовательно, и типа цивилизации оказывается достаточно вероятной. Генезис подобной трансформации преформируется внутренними закономерностями самореализации философской и методологической парадигм западной культуры последних столетий.

Как мы видим, пессимистический сценарий будущего цивилизации ведет к утрате технологией человекоразмерности, устранению из нее «человеческого фактора» или изменению его биосоциальной природы.

Однако в настоящее время это лишь одна из альтернативных глобально-эволюционных тенденций. Оптимистический вариант будущего допускает сохранение за человеком лидирующей роли в истории Разума и гуманистических идеалов как основы социальной жизни.

Ценой этого может стать смена доминирующей эволюционной стратегии, которая обеспечила бы сохранение за человеческой цивилизацией контроля над остальными сопряженно эволюционирующими системами ноосферы и предотвратила спонтанную (с человеческой точки зрения) трансформацию формы разумной жизни в доступной нашему наблюдению Вселенной. По своей сути это одновременно и когнитивная, и аксиологическая проблема, поскольку предусматривает и исследование возможных социальных рисков, проистекающих из развития науки, и этический выбор из нескольких альтернативных исходов создавшейся ситуации.

Возможность нахождения приемлемого решения вытекает из двойственной социальной роли науки на современной фазе истории. «Опасное знание», безусловно, порождается научным прогрессом, точнее несоответствием скоростей прироста научного знания и адаптивной реакции социума. Однако, с другой стороны, именно наука позволяет обществу диагностировать это несоответствие как конкретный социальный риск, дать прогноз его альтернативного развития и, следовательно, сохранить возможность трансформации спонтанно протекающего процесса в результат сознательного политического выбора. В уже цитированной здесь книге «Общество риска» Ульрих Бек писал: «На передний план все больше выдвигаются опасности, которые люди, им подверженные, часто не видят и не ощущают, опасности, которые скажутся уже не при жизни самих этих людей, а на их потомках, в любом случае такие опасности, для обнаружения и интерпретации которых нужны “воспринимающие органы” науки — теории, эксперименты, измерительные инструменты».

Автор имел в виду техногенные риски, повышение вероятности техногенных катастроф. Однако в принципе это наблюдение относится к любому типу опасного знания. Но если риск технологической модернизации в сфере материального производства («опасное знание» первого рода) остается технологической (а следовательно, естественно-научной) проблемой, относящейся скорее к сфере конкретной экологии, то в том случае, когда конфликт смещается в область культурно-психологических коллизий («опасное знание» второго рода) и глобально эволюционных процессов в ноосфере («опасное знание» третьего рода), вся проблема оказывается относящейся к компетенции не только естествознания, но и гуманитарных наук с присущим им собственным понятийно-категориальным и познавательным аппаратом. Уже социальные конфликты, обусловленные внедрением новых технологий и воздействием научных знаний на массовое сознание, требуют двустороннего обмена и перевода семантических кодов между естествознанием и политикой, социологией, философией, психологией, где функцию основного транслятора, обеспечивающего взаимопонимание между учеными-естествоиспытателями,

бизнесменами, политиками, «рядовыми избирателями» берет на себя этика. Возникает область контакта и столкновения двух эпистемологических моделей — физикалистской (естественно-научной) и социогуманитарной, в которой, по наблюдению Р.С. Карпинской и С.А. Никольского, возникают «постоянные колебания между идеалами гуманизма и точного естествознания» [Карпинская, Никольский, 1988; Глазко, Чешко, 2011].

Это явление Ю.М. Плюснин удачно назвал «гносеологическим дуализмом» [Плюснин 1990, 2001]. «Два типа ценностей — ценность человеческой жизни и ценность объективного знания оказываются не совмещенными. Они в равной мере имеются в виду, но сохраняется лишь рядоположенность двух культур — естественно-научной и гуманитарной», — заключают они, полагая, очевидно, это признаком методологического эклектизма.

Точно такие же, подобные маятнику, колебания отмечаются английским историком науки Роджером Смитом [Смит, 2000] и в исторической перспективе по отношению к оценке роли генетического и социокультурного факторов в формировании человеческой индивидуальности. В 1900–1930 гг. на Западе доминировало убеждение, что сущность человеческой личности определяется наследственностью. С 1940-х гг. возобладала альтернативная доктрина, а в последнюю четверть XX в. сопряженно с развитием генетики приоритет вновь возвращается к поиску биологических первооснов культуры. Эти изменения естественным образом коррелируют с развитием политической ситуации. В то же время в их основе, по нашему мнению, лежит методологическая дополнительность обоих подходов к пониманию антропо- и социогенеза, параллельное существование в ментальности двух альтернативных установок, определяющих восприятие человеком своего места во Вселенной.

Преодоление этого эклектизма становится необходимым условием анализа глобально-эволюционных последствий пролиферации «опасного знания» в социальную жизнь. Вероятно, на роль методологической парадигмальной основы здесь может претендовать синергетика, позволяющая выявить общие закономерности сопряженной эволюции нескольких неравновесных систем в общем «адаптивном ландшафте».

Таким образом, «человекоразмерность» современного естествознания и порождаемые его развитием все новые и новые разновидности социальных рисков многократно увеличивают зависимость общества от науки и в то же время усиливают зависимость науки от экстранаучных влияний. Ситуация «опасного знания» уже сама по себе предполагает как теоретическую, так и нормативно-аксиологическую составляющую. Следовательно, исходным пунктом формирования новой адаптивной стратегии *Homo sapiens* в обществе риска становится формирование новой системы коадаптации науки и общества.

Последовательными стадиями этой эволюции оказываются три адаптивных стратегии, определяющих идеологию отношений политики, власти и науки.

Прямая ассоциация научных теорий с интересами определенных политических партий. Восприятие конфликта между новыми научными концепциями и доминирующими в обществе базисными идеологическими установками как антагонистических противоречий; их единственно возможным разрешением принимается элиминация научной концепции, опасной для социальной и политической стабильности, и устранение ее сторонников в той или иной форме из социальной жизни. Процессы (политические по сути, религиозно-идеологические по форме) Джордано Бруно и Галилея наиболее точно соответствуют этой модели.

Демаркация науки (естествознания) и иных форм духовной культуры. Технократический конструктивизм как эволюционную стратегию можно свести к трем установкам, определяющим соответственно сущность адаптивно-социального поведения, цели и способы их достижения, которые, по утверждению некоторых современных исследователей, «оказались сейчас практически опровергнуты» [Кочеткова, 2003]. Категоричность высказывания невольно вызывает негативную эмоциональную реакцию, правильнее было бы говорить о том, что коэволюционный процесс привел к возникновению ситуации, когда стратегия технократического конструктивизма уже не способна выполнять адаптивную роль. В таком виде это более соответствует эволюционной парадигме самоорганизации, которой придерживается и автор приведенной цитаты.

Социально-культурный прогресс тождественен технологическому развитию, и мерой последнего служит уровень потребления.

Выживание и процветание обеспечивает человечеству покорение и использование природы в собственных целях.

Способом достижения цели является обеспечение технологической эффективности человеческой деятельности за счет неограниченного роста научного знания.

Гуманизация естествознания. К середине XX в. воздействие науки на природную и социальную среду приближается к порогу, за которым «ошибка эксперимента» или сознательно злонамеренное его использование способны вызвать уже не локальную, но региональную или глобальную катастрофу экологического, социально-политического характера. Одновременно возрастает автономия технологии от иных, эволюционирующих сопряженно с ней систем. Как результат — инициируется тенденция прогрессирующего вмешательства общества в жизнь научного сообщества. Социальный, политический, экономический контроль распространяется от сферы прикладного технологического использования науки на так называемую чистую, фундаментальную науку, т.е. на области, ранее

наиболее надежно изолированные от посторонних влияний. Наука приобретает черты этической стратификации, проявляющейся в приобретении наиболее динамично развивающимися областями исследований особой системы моральных регулятивов, определяющих результирующий вектор их развития [Вековщинина, Кулиниченко, 2002].

Новая адаптивная стратегия так или иначе будет равнодействующей трех составляющих:

1) адаптации социальной эволюции к новым реалиям бытия, возникшим в результате сочетания научного знания и новых технологий с уже существующими биологическими и ментальными характеристиками *Homo sapiens*;

2) адаптации современных и будущих технологий к гуманистической концепции человека как наиболее адекватно отражающей самоценность человеческой личности и человечества в целом;

3) адаптации существующей генетической конституции человека к результатам социальной и технологической эволюции.

Выбор конкретного (согласованного и соразмерного) решения всех трех задач подразумевает, в свою очередь: определение *цели*, т.е. того сценария/сценариев будущей социобиологической эволюции человека, который он сам признает желательным и оптимальным; разработку *методологии*, т.е. теоретической и технологической основы реализации такого сценария будущего развития; и наконец, установление *условий и границ применимости* как всей стратегии, так и ее составных элементов.

Подчеркнем несколько важных мотивов, прослеживающихся в приведенных рассуждениях. Прежде всего это мотив *выбора*, который придает процессу эволюции некую *телеологичность*, движение в изначально заданном направлении. И наконец — мотив адаптивной стратегии как *самореализующегося прогноза*, который одновременно служит мерилom адекватности избранной стратегии. Все они так или иначе связаны с тем, что (в отличие от стратегии технологического конструктивизма) пролиферация «опасного знания» в ментальность означает переориентацию когнитивного вектора науки извне (познание Природы) внутрь — на анализ последствий собственного развития («рефлексивное онаучивание» по Ульриху Беку).

Таким образом, положение человека как центрального звена в системе «природа—социум—технология», участвующего одновременно в биологической, социально-культурной и технологической формах эволюционного процесса, становится амбивалентным в такой мере, что стратегия технологического конструктивизма оказывается неадекватной новой ситуации.

Неадекватность стратегии технологического конструктивизма с точки зрения долговременных интересов выживания человечества афористично

подчеркнул Р. Хиггинс, с полемическим сарказмом заявивший (это утверждение он вынес в заголовок своей книги), что из четырех опасностей для будущего человечества — демографический взрыв, угроза голода (продовольственный кризис), истощение природных ресурсов, разрушение среды обитания, злоупотребление ядерной энергией, побочные последствия развития науки и технологии (т.е. собственно то, что в данном исследовании обозначается термином «опасное знание») — наибольшую угрозу представляет «седьмой враг» — сам человек [Хиггинс, 1990]. Но если признать аргументацию Р. Хиггинса корректной, то это, в сущности, и означает, что система элементов духовной культуры, ценностных приоритетов и ментальных установок, служащих основой поведенческих модусов современной техногенной цивилизации (эволюционная стратегия человечества), своей основной функции уже не выполняет.

Поиски новой адаптивной стратегии происходят, таким образом, одновременно в двух плоскостях и на двух уровнях.

Канализация последующего развития высоких технологий должна быть совместима с тем, чтобы «приблизить технику к мере жизни, мере человечности» и сохранить «человеческое измерение Разума» [Толстоухов, 2003]. Иными словами, речь идет об оптимизации двусторонних отношений в связке Технология — Природа. Симптомом этой ментально-этической трансформации стало появление в последней трети XX в. экономических моделей-концепций «пределов роста», «стабильного развития» и т.п.

Необходима разработка фундамента новой научной методологии, придания ему аксиологического измерения, синтез естественно-научной и гуманитарной моделей познания и канализация характера обратных влияний Наука — Технология — Человек. Результирующая этих векторов ориентирована на преодоление существующего сейчас антагонизма ментальных установок и поведенческих модусов технократического конструктивизма и гуманизма.

Итак, первый уровень новой адаптивной стратегии человечества — это новая корпоративная этика научного сообщества и новая система нормативных стандартов, регулирующих отношения социума и научного сообщества, исходящие из базового принципа неотъемлемой ценностной компоненты любого научного знания. Применительно к одной из наиболее конфликтных и рискованных областей современной технологии (био- и генетической технологии и ее теоретического фундамента — генетики и молекулярной биологии) новую стратегию можно определить как *общую биоэтику*. При реализации любой фундаментальной исследовательской программы и научно-технологической разработки, если последние касаются человекоразмерных областей, элементами вновь формируемой адаптивной стратегии современной науки как социального

института являются: согласование норм общечеловеческой этики с этикой науки; оценка допустимости тематики, целей и применяемых методологических подходов с точки зрения сохранения и укрепления оснований человеческой личности, сохранения и охраны жизни на Земле на всех этапах исследования; мониторинг возможных социальных аспектов научного открытия и разработка эффективных методов технического, социального и социально-политического контроля возможных негативных последствий их технологического использования; просвещение и обеспечение доступной и адекватной информации о сущности теоретического и методологического фундамента науки; анализ взаимодействия научных теорий с базисными концепциями и ментальными установками на всех уровнях организации социальных общностей; обеспечение возможности адаптации существующих базисных гуманистических концепций к новым реалиям бытия, инициированным научными и технологическими революциями, при сохранении их центрального парадигмального ядра, отражающего биосоциальную природу человека.

В конечном итоге формирование аксиологически ориентированной стратегии научного познания внутри научного сообщества за счет его собственных механизмов поддержания социального гомеостаза является необходимым и достаточным условием поддержания неустранимой в полной мере политизации и идеологизации науки на приемлемом уровне, предотвращения чрезмерного социально-политического давления на развитие науки.

Следующий уровень адаптивной стратегии можно определить как *глобальную биоэтику* — концептуальное выражение новой адаптивной стратегии человечества по отношению к природе и технологии на современной стадии их сопряженной эволюции. Ее принципы находятся в настоящее время на стадии конкуренции нескольких парадигм [Вековщинина, Кулиниченко, 2002]. Возможно, эта ситуация сохранится и в дальнейшем — в силу разнообразия типов культуры отдельных этносов. С другой стороны, формирующаяся культурно-адаптивная стратегия, очевидно, должна включать в себя и некие базисные целевые установки — инварианты, подобно тем, которые характеризовали стратегию технократического конструктивизма. В работах, написанных в последние годы жизни, Р.В. Поттер в качестве такой целевой установки формулирует понятие *приемлемого выживания* как целостности двух основных атрибутов: *устойчивого развития общества и устойчивого «здоровья» глобальных экосистем*. Иными словами, приемлемое выживание подразумевает обеспечение не только физиологических процессов жизнедеятельности, но и духовной культуры человечества, сохранения ее гуманистической направленности.

Но изменение этических приоритетов в их системной целостности есть условие необходимое, но не достаточное для трансформации адап-

тивной стратегии техногенной цивилизации. Реальной силой она станет лишь в результате интеграции в социоэкономический механизм «общества риска».

Есть по крайней мере два основания для оптимизма.

Прежде всего в силу специфики своего предмета эволюция доминирующих парадигм экономической теории в целом оказывается параллельной эволюции методологии естественных наук.

Так же как и в становлении методологии научного познания в целом, историю методологии экономической теории принято разделять на три этапа [Штанько, 2004].

1. *Классическая методология (XVIII — конец XIX столетия)* базировалась на лапласовском детерминизме. Цель познания формулировалась как создание объективной картины окружающего мира, существующего вне человеческого сознания и независимо от него. В естествознании это вело к игнорированию тех непреодолимых изменений, которые вызывало в объекте исследования само присутствие наблюдателя и взаимодействие объекта с исследователем и инструментами исследования. В социоэкономической теории в этот период игнорировались целевые и ценностные установки, политические и этические взгляды как отдельных индивидов — субъектов экономической деятельности, так и самого исследователя. В соответствии с концепцией классика экономической теории Адама Смита деятельность человека в рыночной среде целиком определяется рационалистическими факторами — единым универсальным законом, определяющим независимо от воли субъекта постоянный рост общественного богатства.

2. *Неклассическая методология (конец XIX — 70-е гг. XX в.)*. В научный анализ были вовлечены факты, связанные с особенностями индивидуального поведения человека по достижению поставленных им целей в условиях ограниченных ресурсов, их обеспечивающих. Акцент делался на реальных мотивах и стимулах, поступках субъектов экономической деятельности, хотя сама эта деятельность рассматривалась как сугубо рациональная. Концепция верификации экономической теории почти целиком сводилась к требованию отсутствия логических противоречий. Широкое использование в социоэкономических исследованиях нашли логико-математические и статистические методы анализа и интерпретации полученных исследователем научных фактов.

3. *Постнеклассическая, современная методология (с 1970-х гг.)* исходит из постулата относительности и исторической обусловленности любых типов рациональности. Экономическая теория не может быть полностью освобождена от ценностно-этического и идеолого-политического компонентов. Объект и субъект социоэкономического познания включены в цикл прямых и обратных связей. Сам процесс научного исследо-

вания влияет на поведение предмета исследования. Результаты исследования отражаются на субъекте познания и изменяют систему целей, которые он преследует. Целевой методологической установкой экономического исследования (как и методологии науки в целом) становится не устранение ценностных и социокультурных компонентов из содержания научной теории, а их выявление и осмысление. Важное место здесь отводится созданию системы ценностных приоритетов, которыми необходимо руководствоваться в ходе экономического исследования, системы ориентиров, используемых при создании экономических концепций, и/или стратегии экономического развития.

Итак, современная социоэкономическая теория относительно толерантна к идее человекообразности объекта социоэкономического познания.

Далее. Существующие стратегии и практика менеджмента и маркетинга в области научно-технологического развития в целом уже разработали концепцию *партисипативного (интерактивного) планирования*. Ее исходная методологическая установка — *непосредственное участие познающих субъектов (ученых) в «проектировании желаемого будущего и изыскании путей его построения»* [Акофф, 1985; Смоловик, 2004].

Эта модель, по замыслу ее создателя Р. Акоффа, должна оптимизировать практику управления повседневной деятельностью и перспективным развитием экономического субъекта (фирмы). Однако, на наш взгляд, она имеет достаточно высокий эвристический потенциал.

Ныне наблюдается постепенная эрозия и ослабление политического влияния концепции научного познания, исходящей из социальной автономии ученого — *наблюдателя* за развитием ситуации, возникшей вследствие его исследовательской деятельности в природе и обществе. Генезис «опасного знания» и трансформация техногенной цивилизации в «общество риска», как мы видели, стали мощными факторами, обусловившими прогресс альтернативной модели, основанной на холистическом по своей природе концепте личной ответственности и заинтересованности исследователя — *участника* событий, связанных с социоэкологическими и социокультурными трансформациями.

Происходит переход от системы управления наукой к системе управления знаниями [Мильнер, 2003; Букович, Уильямс, 2002; Задорожный, Холин, 2003; Холин, 2004]. Отличия между ними носят принципиальный характер — управление знаниями подразумевает внутренний контроль научного исследования. Иными словами, ценностный компонент, как уже говорилось, становится имманентным содержанию научной теории, а не просто критерием социоэкономической и политической селекции научно-исследовательской тематики. Человекообразность естествознания и человекообразность экономической стратегии оказываются

взаимобусловленными сменой философской парадигмы: «С позиций антропоморфизма, т.е. путем объяснения явлений по аналогии с практической жизнью и деятельностью людей, совершенно недостаточно считать, что любое новое научное знание, которое проясняет недостатки существующих знаний, оправдывает интересы одной группы ученых и части населения Мира в ущерб остальным, может считаться более прогрессивной и универсальной общественной наукой», — писал недавно один из отечественных экономистов [Смоловик, 2004]. Отчуждение научного знания (информации) от своего биосоциального носителя (человека) и ее свободная циркуляция в информационных сетях сменяются формированием самоорганизующегося социокультурного контекста. Такой контекст можно рассматривать как своеобразную коллективную память, а точнее — коллективный разум разного уровня сложности. Последний определяет состав и содержание совокупности социально значимых научных концепций. Управление знаниями становится важнейшей функцией государственных и политических структур и одновременно центральным принципом деятельности субъектов рынка.

В соответствии с результатами социологических исследований 2000–2002 гг. по крайней мере 75–80% фирм — субъектов предпринимательской деятельности в экономически развитых странах мира уже имеют систему управления знаниями, в большинстве случаев (свыше 53% принятых во внимание фирм) — структурно оформленную [Мильнер, 2003].

Интеграция систем управления знаниями в менеджмент и маркетинг отдельных фирм позволяет последним, в свою очередь, органично вписаться в социальные структуры общества риска, не вступая при этом в конфликт с доминирующей в настоящее время в обществе системой ценностных приоритетов. Чисто производственная выгода заключается в координации инновационной политики с векторами развития менталитета и мировоззрения современного человечества.

«Избыточное», т.е. не вовлеченное в действующие или в потенциально возможные технологические схемы, знание не является простым результатом научно-технического прогресса. Самим своим существованием оно задает направление развития инноваций, служит источником «перманентного творческого беспокойства» [Холин, 2004]. Обновление и трансформация фундаментальной науки в обществе риска, в свою очередь, стимулирует превращение инновационной экономической деятельности в «самовозобновляющуюся и самопрограммирующуюся систему» [Панарин, 2003]. Итак, организация управления знаниями включает в себя две подсистемы: повседневное распознавание, оценка и коррекция рискогенных ситуаций. То есть определение выполнимости или невыполнимости условий реализации конкретных инноваций с учетом последствий для социоэкологической среды и биосоциальной природы человека (тактиче-

ское планирование); выбор оптимального вектора инновационного процесса и его интеграции в общий ход социобиологической эволюции человечества. Для того, чтобы была вероятность актуализации наиболее желательного сценария будущего (стратегическое планирование).

Система управления «опасным знанием» меняет эпистемологическую ситуацию, придавая ей несколько качественно новых атрибутов, отсутствовавших у естествознания классической фазы своего развития.

Социальная верифицируемость научной истины — уже упоминавшийся паритет объективного научного знания и субъективного «здорового смысла», равно участвующих в интерпретации реальности. Как следствие, принципы биоэтики, зародившиеся в медицине (знаменитый кодекс Гипократа со всеми последующими уточнениями и трансформациями), распространяются на всю современную науку и технологию.

Телеологичность — научное познание уже изначально должно служить достижению искомой цели — повышению шансов реализации наиболее желательного варианта будущего.

Технологичность — тематическая и содержательная структуры фундаментальных научных теорий в своих основах должны способствовать реализации конкретной технологической схемы, решению стратегической технической проблемы.

Этическая направленность. Социальная функция науки тройкая: собственно познавательная — приобретение новых знаний (1), технологико-экономическая — разработка новых рационалистических способов преобразования природы, общества и человека (2) и этическая — «искусство жить достойно» [Малицкий, Попович, 2001], обеспечение человеку и человечеству неких ориентиров, позволяющих ему действовать во имя созидания, а не разрушения (3). Со времен возникновения позитивизма в философии науки считалось аксиомой, что первые две из них — первичные, тогда как третья есть производная от них. Но, как демонстрируют результаты нашего анализа и констатируют в своем докладе на 2-м Национальном конгрессе по биоэтике Б.А. Малицкий и А.С. Попович, в обществе риска «гармонизация в исследовательском процессе этих трех функций является фундаментальной основой для сохранения научным сообществом и отдельным ученым высоких нравственных устоев [...] Узко профессиональный рационализм», — утверждали они далее, — заставлявший исследователя относиться к этическим аспектам и результатам своей деятельности как к досадной помехе торжеству новых знаний... может стать трагедией планетарного масштаба». И общий вывод о «надуманности и искусственности представлений об этической нейтральности науки» [Малицкий, Попович, 2004].

Инновационная направленность — создание новых реалий бытия, отвечающих запросам социума и отдельных индивидов. Инновация уже

сама по себе предполагает в будущем (прогнозируемом или спонтанном) точки бифуркации, меняющие направление социоприродной эволюции и, следовательно, стратегических векторов, основополагающих принципов и целей системы управления знанием.

Таким образом, управление знаниями вообще и «опасным знанием» в частности изначально окажется эффективным, если будет ориентироваться не на извлечение сиюминутной экономической выгоды, а на «поиск и усовершенствование социальных парадигм» [Клаус, 1998].

Таким образом, накопленные материалы приводят к выводу, который постепенно становится центральным принципом парадигмы постмодернистской культуры и науки: различные формы эволюционного процесса — эволюция неживой природы, биологическая и социокультурная эволюция, развитие науки и технологии — образуют целостную систему, центральным элементом которой становится познающий субъект — человек. В такой интерпретации *глобальный эволюционный процесс приобретает гуманистический смысл. «Опасное знание», следовательно, ведет к таким девиациям, которые нарушают антропный принцип — соответствие параметров социоприродной среды обитания необходимым и достаточным условиям существования разумной жизни во Вселенной.*

Как известно, наука (по крайней мере, естествознание) не содержит в самой себе критериев социальной значимости полученных ею теоретических и практических результатов. Поэтому по мере усиления важности коэволюционных связей научных разработок с судьбами Цивилизации, Культуры, Разума не только методологические принципы и идеи естествознания, как это было ранее, проникают внутрь социогуманитарного знания, но и логические конструкты и методологические принципы гуманистики в ткань естественно-научных теорий.

Принимая на себя сознательную ответственность за перспективы собственной эволюции, человечество вступает в новую эпоху и оказывается перед лицом трагических конфликтов и жестоких чудес «научного прогресса». Все это — неизбежные спутники вечного стремления человечества к Счастью и Добру, Свободе и Справедливости [Глазко, Чешко, 2011].

ПЕРСПЕКТИВЫ ЧЕЛОВЕКА. УСТОИМ ЛИ МЫ?

*«Кто ищет, жаждет кто — сливает трепет свой
С мятущейся толпой, с таинственной Вселенной.
Ум жаждет вечности, он дышит широтой,
И надобно любить, чтоб мыслить вдохновенно!».*

Эмиль Верхарн

*«Необходимость — враг бессилья,
В ней состраданья к трусам нет!
Она дает отваге крылья,
И мощь руке, и сердцу свет!
В себе творя неотвратимость,
Ударив громом в грудь Земли,
Свершает в миг необходимость,
Что годы сделать не могли!».*

Христиан Гельдерин

После выяснения биологической роли нуклеиновых кислот, открытия структуры молекулы ДНК, расшифровки генетического кода наше мышление изменилось навсегда и кардинально; эти трансформации многократно ускорились, расширились по масштабам и углубились. Они вышли за пределы собственно естествознания, интегрировались в человеческую ментальность, стали, наконец, одним из доминирующих факторов современной техногенной экономики и социальной эволюции общества [Глазко, Чешко, 2007].

Целью науки является предсказание. Науки об обществе субъективны и бедны объективными количественными показателями, находятся под влиянием господствующей идеологии. Свои предсказания они облачают в поливариантную форму так называемых сценариев, перекладывая ответственность за принятие решения на тех, кто за прогнозом к ним обращается, но, как показывает время, заказанные прогнозы не выполняются. В естественных науках ситуация прямо противоположная — предсказания выступают в форме прогноза, основанного на установлении и корректной экстраполяции качественных и количественных закономерностей. Однако, к сожалению, таких закономерностей очень много и крайне сложно выбрать из них ведущие. Истоки и эволюция представлений о наследственности, история формирования и ветвления науки генетики, попытка

изложения отдельных этапов которых сделана в настоящем издании, отражает, по сути, историю развития биосферы и ее изменений после появления цивилизации человека

У. Бэтсон предложил имя для новой науки: «генетика». Он сделал еще одно важное предположение — предвиденье в своей книге «Принципы наследования Менделя» (*Mendel's Principles of Heredity*). Он не исключил, что некоторые болезни человека могут иметь генетическую природу. В связи с этим он упоминал алкаптонурию — хроническое заболевание, часто ведущее к острому артриту и проявляющееся специфическим окрашиванием мочи и кожи. Бэтсон заключил, что причиной заболевания может быть неудачное сочетание двух рецессивных генов. Книгу Бэтсона прочитал Арчибальд Е. Гаррод (*Archibald E. Garrod*). О том, что произошло потом, мы уже упоминали значительно раньше. Он как раз наблюдал молодую семейную пару, которые были двоюродным братом и сестрой и имели родственников с алкаптонурией. Когда у них родился ребенок с такой же болезнью, Гаррод убедился, что теоретические предположения Бэтсона оказались верны. Он пошел дальше, утверждая, что вероятной причиной заболевания является дефект в определенном ферменте. Гарроду принадлежит фраза, которая до сих пор используется в медицинской генетике: «врожденная ошибка метаболизма». Всего 50 лет потребовалось науке, чтобы от умозрительных заключений вплотную подойти к биохимии. Стало очевидным, что в организме человека действуют те же материальные механизмы жизни, что и у животных с растениями. Кроме того, появилась надежда, что наука поможет человечеству избавиться от заболеваний (или хотя бы облегчить их течение), природа которых оставалась загадкой на протяжении веков.

А что сейчас, через 100 с лишним лет? Мир стал значительно грязнее, уровень радиоктивности в связи с атомными авариями возрос на 10%, возрос генетический груз человечества а живем мы в разы дольше... Почему? И на что нам надеяться дальше?

Надежды на выживание прямо связаны с теорией В.И. Вернадского о ноосфере — способностью человечества как вида взять на себя управление биосферой и, по крайней мере, в первую очередь уменьшить скорость ее разрушения, связанную, в первую очередь, с деятельностью самого человека. Для того чтобы изменения в биосфере стали направляемыми, необходимы глубокие знания об истории ее развития, критических этапах интеграции в нее деятельности человека. Необходимость преодоления стихийности экстенсивного развития аграрной цивилизации и ее конфликта с природой, смягчения противоречия между естественным и искусственным, между универсалом природы и универсалом человеческой деятельности является единственным условием выживания человека. В качестве одного из критериев благоприятного

развития ноосферы предполагается в XXI в. разработать подходы к достижению ее устойчивого развития. Но это реально только тогда, когда появится возможность выявления основных параметров, изменчивость которых лежит в основе устойчивости биосферы, а также продуктивности агросферы. Сегодняшняя продуктивность агросферы не в состоянии покрыть потребность человечества в связи с его быстрым ростом. Следует подчеркнуть, что отсутствуют элементы биосферы, независимые от деятельности человечества. XX столетие позволило значительно расширить естественнонаучную базу знания и накопить достаточное количество информации. Эта база развивается по своим внутренним законам, становясь инструментом изменения мира. Поэтому впервые за время существования науки появилась реальная возможность исследовать предположения В.И. Вернадского о модели исторического развития человечества и провести ревизию его идей, отобрать те положения, которые соответствуют объективным наблюдениям. Можно ли назвать современную техническую революцию полностью научной? Ведь из-за этой «революции», как оказалось, человечество в существенной степени освободилось от биологического пресса естественного эволюционного процесса и отбора, но взамен создало факторы искусственного отбора, под влиянием которых качество и жизнестойкость человечества ухудшаются и снижаются. Люди активно пользуются результатами технической революции, делая вид, что не замечают негативных последствий, и, естественно, никогда не откажутся от благ цивилизации, тем более что за них придется расплачиваться жизнью и здоровьем будущих поколений, а не живущих сегодня. Ход истории, как и течение времени, необратим, и возврат в пещеры возможен разве что для переживших ядерную или глобальную катастрофу. Вместе с тем мы не хотим замечать и того очевидного факта, что, если развитие цивилизации будет идти в дальнейшем тем же путем, нас ждут большие неприятности и рукотворные катастрофы. Прямое и опосредованное разрушение окружающей среды происходит под влиянием человека. Происходит разрушение всех компонентов существующего биоразнообразия, в первую очередь это касается генофондов, т.е. генетической структуры живущих видов. Как уже ясно, это приводит к глубоким изменениям всей сложности взаимоотношений в биогеоценозах.

Произошло рождение нового направления в биологии — ДНК-технологий, значение которого не ограничивается результатами тех или иных фундаментальных и прикладных исследований. Именно с этого момента начинается новый этап эволюции биосферы Земли, и к сожалению, мы в настоящее время не все в состоянии предвидеть. Объединение несколько новых областей исследований: ДНК-технологии, биоинформатики, метаболомики, протеомики — обусловлено тесным взаимодействием между ними и взаимозависимостью их развития. Исследования

генетического материала микроорганизмов показали, что во многих случаях отсутствуют межвидовые барьеры в передаче генов. Это подготовило благоприятную почву для введения рекомбинантных ДНК в многоклеточные организмы. Идея введения чужеродных генов в геном многоклеточного организма ничем существенно не отличается от идей генетической трансформации бактериальных клеток гетерологичными последовательностями нуклеиновых кислот. Поэтому логично, что с развитием ДНК-технологии появились трансгенные животные и растения. Анализ трансгенных организмов позволяет непосредственно изучать генетический материал, взаимное влияние генов и их функциональное значение, а также анализировать экспрессию генов в новом генетическом окружении. Получены экспериментальные данные о возможности обмена генетической информацией как между отдельными генами внутри одного организма, разными организмами одного и того же вида, так и между организмами разных таксономических групп. Обычно у высших организмов такой «горизонтальный» перенос генетической информации является редким событием, но у микроорганизмов он достаточно распространен, что и используется практически во всех методах ДНК-технологий. Гены, появившиеся в геноме в результате единичного события горизонтального переноса, обычно будут расположены в непосредственной близости друг от друга, во всяком случае пока их положение на хромосоме не изменится в результате рекомбинационных событий.

Вообще существует тенденция к сохранению близости (в смысле расстояния на хромосоме) функционально связанных генов. В общем, ДНК-технологии — это методы получения рекомбинантных ДНК, объединяющих последовательности разного происхождения, искусство использования знаний, методов и техники физико-химической биологии и молекулярной генетики для конструирования организмов с заданными наследственными свойствами, умение поставить и методически реализовать генно-инженерную задачу — получить рекомбинантную ДНК с последующим включением ее в реципиентную клетку или осуществить перенос целых хромосом от клеток-доноров в клетки-реципиенты. Они включают также методы клонирования ДНК, идентификацию генов, методы секвенирования и синтеза олигонуклеотидов, направленного мутагенеза ДНК.

Современные данные указывают на индетерминизм генетической информации в жизни многоклеточных организмов. Генетически запрограммированная нестабильность — геномное непостоянство ответа на воздействие среды — во многих случаях жизненно необходима. Только учитывая этот факт, следует рассматривать стабильность гена как важнейшее его свойство. Другой механизм может быть связан с генетически детерминированным уровнем мутагенеза отдельных локусов или их участков,

который может определять предпочтительное изменение генов в фило-генезе. Принятие этих механизмов может оказаться радикальным для нашего понимания современного состояния эволюционного учения, в частности о путях и механизмах адаптации. В новой, очередной синтетической теории среда окажется не только приемщиком — контролером наследственной изменчивости, но и творцом — часовщиком эволюции. Следует также учитывать при оценке эволюционного процесса для человека особенности его культурной эволюции, так называемой эволюции культурных признаков и свойств, т.е. признаков, передающихся путем обучения, подражания, восприятия и т.д. (например, поведенческие признаки).

В связи с осознанием конфликта между биосферой и антропогенной деятельностью сформулирована концепция необходимости достижения «устойчивого развития» биосферы. В этот термин входит понимание того, что человеческая деятельность не должна представлять угрозу для природных систем, водных систем, почв и живых организмов, т.е. систем, от которых зависят жизнеобеспечение и сама жизнь как таковая будущих поколений человека. Одним из аспектов этого термина является необходимость обеспечения экологически устойчивого развития, т.е. когда уровень антропогенного давления и техногенного загрязнения не превышает рекреационных природных способностей, когда скорость использования невозобновимых ресурсов минимальна и возмещается за счет их замены и использования возобновляемых компонентов.

Важно подчеркнуть, что агроэкосистемы являются частью экосистем, принадлежащих к системам высшего уровня сложности. До сих пор остается невозможным их описать, проанализировать изменения, прогнозировать закономерности развития и т.д. Лишь какие-то общие тенденции доступны для формализации и исследования на моделях. В то же время стабильность существования социально-экономической системы человечества возможна только при стабилизации экосистем [Глазко, Чешко, 2007]. Знание основных их свойств позволило бы выделять наиболее важные элементы и связи, существенные переменные, определяющие тенденции изменения целых систем в результате различных воздействий. Это важно для прогноза изменений в будущем и решения прикладных задач в настоящем. Поиски смягчения глобального конфликта между агросферой и биосферой, которые реализуются, в частности, в развитии прецизионных агротехнологий (биотехнологий, нанобиотехнологий, ДНК-технологий), с момента зарождения современной генетики являются ее главной задачей. К созданным при ее участии технологиям, уже реально приносящим прибыль и показавшим свою эффективность, относятся такие, как увеличение «адресности» обработки почв, получения и использования биоорганизмов, модификаций конечной продукции; использова-

ние данных о «метагеноме» (совокупность геномов микробиоты почв, совокупность генома многоклеточного организма с геномами его симбионтов — прокариот) для коррекции метаболома почв, многоклеточных организмов в желательном направлении. Они включают переход от «карательного» принципа защиты сельскохозяйственных видов от патогенов к принципу «взаимопомощи». К ним относятся также методы получения и использования генетически модифицированных организмов, отражающих смену парадигмы, благодаря которой не экологические условия подгоняются к организму, а организм — к условиям.

Краткая хронология ДНК-технологий включает следующие ключевые этапы.

2000 г. — первая расшифровка генома растения: *Arabidopsis thaliana*; обогащенный провитамином А «золотой рис» стал доступным для развивающихся стран. Предварительная («черновая») расшифровка генома человека [Глазко 2006]. «Заказанные» дети (доноры для своих братьев и сестер). Американские и японские исследователи получили клон телят путем трансплантации ядер фибробластов уха 17-летнего быка. Полностью секвенирован геном дрожофилы, риса («Monsanto»), совокупность клонов генома одного человека. Polejaeva et al. разработали метод пересадки ядер соматических клеток (клетки гранулезы) для получения свиней. Создан Совет по вопросам информации в области биотехнологии. АСТА присоединяется к нему в качестве ассоциативного члена, и зерновая промышленность продвигается вперед. Население земли достигло 6 млрд. Возникновение филогеографии (J.C. Avise). Данные молекулярной генетики пригодились для создания медикаментов, применяемых для профилактики и лечения новообразований, лейкозов, вирусных инфекций, лучевых поражений и т.д. Век инженерной генетики открыл новые возможности для создания организмов с ценными хозяйственными свойствами путем прямого вмешательства в геном. Все большее применение получает метод биологической борьбы с вредными видами. Ежегодно рождаются десятки тысяч детей, зачатых «в пробирке». Предпринимаются попытки клонировать человека. Рутинными стали сложнейшие операции по трансплантации сердца, почек, легких и других органов. Р. Врелэнд реанимировал бациллу из кристаллов галита, предельный возраст анабиотических бактерий достиг 250 млн лет. Аргументами в пользу реальности экзобиологии служит наличие воды на Марсе и юпитерианской луне Европе, а также сообщение Д. Маккея о находке внутри марсианского метеорита ALH84001 частиц магнетита, поразительно сходных с биогенными магнитосомами. Arvid Carlsson, Paul Greengard, Eric Kandel присуждена Нобелевская премия за открытие сигнальной трансдукции в нервной системе.

2001 г. — Компания «Синджента» заявила об успешном окончании проекта картирования генома риса; рис стал первой зерновой культурой

с полностью расшифрованным геномом. Многие ученые считают, что этот результат имеет для науки такое же историческое значение, как и расшифровка генома человека. Конференция ФАО одобрила Международное соглашение по растительным генетическим ресурсам для развития сельского хозяйства и производства продовольствия как результат резолюции 8/83 с последующей ратификацией странами-участницами. Генетически модифицированные сельскохозяйственные культуры выращивают около 5,5 млн фермеров в 13 странах на общей площади 52,6 млн га (соя — 33,3 млн га (63%), кукуруза — 9,8 млн га (19%), хлопчатник — 6,8 млн га (13%)) — это 31-кратный прирост по сравнению с 1996 г. Расшифрован геном человека. Начало постгеномной эры. Получена первая трансгенная обезьяна. Sharp P.A. выявил механизм РНК-интерференции, в результате чего возникли новые подходы к генотерапии. Сообщено о рождении первых «генетически модифицированных» детей (в результате пересадки в яйцеклетки митохондрий, взятых от другой женщины). Отработаны методы отбора зародышей, свободных от генов, вызывающих наследственные заболевания. Усовершенствованы имеющиеся и созданы новые методы предимплантационной генетической диагностики патологий. Leiland H. Hartwell, R. Timothy (Tim) Hunt и Sir Paul M. Nurse присуждена Нобелевская премия за открытие ключевых регуляторов клеточного цикла.

2002 г. — постгеномная эра. Начало протеомики. Присуждены Нобелевские премии за развитие методов идентификации и структурного анализа биологических макромолекул (John B. Fenn, Koichi Tanaka и Kurt Wuthrich) и за открытие генетической регуляции развития органов и программируемой клеточной смерти (Sydney Brenner, H. Robert Horvitz и John E. Sulston) I. Бурное развитие эпигенетики. Впервые выделена адениновая ДНК-метилтрансфераза (wadmtase) высших эукариот (растения) и показано, что у них один и тот же ген может быть метилирован как по адениновым, так и цитозиновым остаткам; у растений открыта система регуляции генетической активности путем взаимозависимой модуляции метилирования адениновых и цитозиновых остатков в геноме (Б.Ф. Ванюшин). Генетически модифицированные сельскохозяйственные культуры выращивают более 6 млн фермеров в 16 странах на общей площади 58,7 млн га (соя — 36,5 млн га (62%), кукуруза — 12,4 млн га (21%), хлопчатник — 6,8 млн га (12%)) — это 35-кратный прирост по сравнению с 1996 г. Ф. Шлойтелс с сотрудниками показали, что за геномный импринтинг отвечают некодирующие антисмысловые РНК, комплементарные импринтированным генам.

2002–2006 гг. — расшифровка геномов арабидопсиса, риса, люцерны и тополя.

2003 г. — введены в широкое использование ДНК-биочипы, позволяющих генотипировать одновременно множественные геномные участки,

основы этого метода разработаны А.Д. Мирзабековым [Мирзабеков А.Д. Биочипы в биологии и медицине XXI века// Вестник российской академии наук. 2003. Т. 73. № 5. С. 412–422]. Этот метод позволяет также оценивать профили генной экспрессии и их динамику в различных клеточных популяциях. Генетически модифицированные сельскохозяйственные культуры выращивают около 7 млн фермеров в 18 странах на общей площади 67,7 млн га (соя — 41,4 млн га (61%), кукуруза — 15,5 млн га (23%), хлопчатник — 7,2 млн га (11%)) — это 40-кратный прирост по сравнению с 1996 г.

2003 г. — ГМ-растения возделывают почти на 70 млн га в 18 странах мира, где проживает более половины человечества.

2004 г. — ГМ-растения возделывают более чем на 80 млн га в 18 странах мира.

2005 г. — генетически модифицированные сельскохозяйственные культуры выращивают около 8,25 млн фермеров в 17 странах на общей площади 81,0 млн га (соя — 48,4 млн га (60%), кукуруза — 19,3 млн га (23%), хлопчатник — 9,0 млн га (11%)). Прирост составил 20% (13,3 млн га) по сравнению с предыдущим годом и 47-кратный прирост по сравнению с 1996 г. Нобелевская премия присуждена Ричарду Акселу за исследования в области изучения «обонятельных рецепторов и организации системы органов обоняния». Аксел открыл семейство генов, генерирующих протеины, которые участвуют в «улавливании» запахов. Результаты его исследований позволили объяснить механизм работы органов обоняния. Нобелевская премия присуждена Линде Бак за исследования «обонятельных рецепторов и организации системы органов обоняния». С помощью метода, разработанного лабораторией Линды Бак, показано, что обонятельная система использует комбинаторную схему кодирования запахов [<http://n-t.ru/nl/mf/>].

2004–2005 гг. — на международной космической станции в экспериментах Института медико-биологических проблем РАН получены несколько репродукций бобов гороха в условиях невесомости.

2006 г. — подтверждение открытия новой малой планеты Крымской астрофизической обсерваторией, зарегистрированной в международном каталоге под номером 6591 и названной САБИНИН в честь Дмитрия Анатольевича Сабина — профессора МГУ им. М.В. Ломоносова, создавшего новые направления во многих разделах физиологии растений.

2007 г. — у растений найдены специфические S-аденозил-метионин, зависимые и чувствительные к статусу метилирования ДНК эндонуклеазы (Б.Ф. Ванюшин, Л.И. Федорева, Н.И. Александрюш-кина).

2008 г. — большие группы ученых под руководством С.Е. Якобсена (S.E. Jacobsen) и Д. Эккера (J. Ecker) расшифровали метилом арабидопсиса, осуществив бисульфитное секвенирование ДНК с выявлением всех

остатков 5-метилцитозина в геноме. Франсуаза Баре-Синуси награждена Нобелевской премией за открытие вируса иммунодефицита человека, которое стало предпосылкой для понимания биохимического механизма СПИДа и разработки его антивирусной терапии. Немецкий учёный Харальд Хаузен удостоен премии за открытие вируса папилломы, вызывающего рак шейки матки. Хаузен установил, что вирус взаимодействует с молекулой ДНК, поэтому в новообразовании могут существовать комплексы HPV-ДНК. Открытие, сделанное в 1983 г., позволило разработать вакцину, эффективность которой достигает 95%.

2009 г. — в результате работы международного консорциума Bovine HarMar, выполнено полное секвенирование и геномный анализ крупного рогатого скота. Обнаружена высокая плотность сегментных дупликаций, ретропозонов, ретровирусных длинных терминальных повторов в областях хромосом, которые подвергались перестройкам в последние 80 млн лет формирования кариотипа *Bos taurus*. В 2009 г. в результате работы международного консорциума Bovine HarMar выполнено семикратное секвенирование генома крупного рогатого скота, которое показало, что он содержит минимум 22 тыс. генов с основным набором 14345 ортологов, общих для семи видов млекопитающих, из которых 1217 отсутствуют или не обнаружены в геномах неплацентарных. Для крупного рогатого скота выявлены эволюционные области и критические участки хромосом, имеющие высокую плотность сегментных дупликаций, обогащенных повторами, и видоспецифичные варианты генов, связанных с лактацией и иммунным ответом. Гены, вовлеченные в метаболизм, высоко консервативны, хотя пять метаболических генов или делетированы, или существенно изменены по сравнению с их ортологами у человека. Ряд генов, связанных с иммунной системой, у крупного рогатого скота отличаются повышенным числом копий. К ним относятся гены бета-дефензины, интерфероны и гены лизоцима, вовлеченные не только в антибактериальную защиту (неспецифический иммунитет), но и в разрушение целлюлозы в четырехкамерном желудке. Как грызуны и собаки, крупный рогатый скот имеют около 1000 генов, не найденных у человека, и 1217 генов, имеющих только у плацентарных. Эти гены имеют большое количество мононуклеотидных вариантов (Single Nucleotide Polymorphism — SNP) в промоторных последовательностях и в мотивах связывания факторов регуляции транскрипции, что вносит свой вклад в различия развития млекопитающих и их физиологии. Предполагается, что высокая плотность сегментных дупликаций, ретропозонов, ретровирусных длинных терминальных повторов в областях хромосом, которые подвергались перестройкам в последние 80 млн лет формирования кариотипа *Bos taurus*, непосредственно обеспечивают хромосомные перестройки, связанные с видообразованием во множестве линий млекопитающих. Высокий уровень генетической изменчивости выявлен у всех пород

крупного рогатого скота. И этот уровень изменчивости оказался даже выше, чем у популяций человека и собак. Наибольшее генетическое разнообразие обнаружено у зебувидного брахманского скота с одной мононуклеотидной заменой (Single Nucleotide Polymorphism — SNP) на каждые 285 пар оснований (п.о.). Это более чем в 2 раза выше, чем у европейских пород голштинов и ангусов, что свидетельствует о том, что в образовании зебувидного скота участвовало много большее количество основателей до доместикации. Генетические данные свидетельствуют о том, что породы крупного рогатого скота вслед за доместикацией проходили умеренное «бутылочное горлышко» отбора с ограниченным количеством основателей или интенсивным отбором по признакам продуктивности. Более того, на основании сравнения распределения изменчивости по десяткам тысяч SNP международный консорциум пришел к выводу о том, что ряд геномных областей отличаются между мясными и молочными породами, причем большинство этих районов содержат гены, отвечающие за количественную изменчивость молочной и мясной продуктивности, в основном локализованные в хромосомах 2, 6, 14 крупного рогатого скота.

Введен термин «геномная селекция», предполагающий, что геномное сканирование по SNP может способствовать картированию главных генов хозяйственных признаков и облегчить селекционную работу. Расшифрован геном домашней лошади. Получены данные, свидетельствующие о том, что хроматин в интерфазном ядре образует автономные глобулярные структуры, что позволило авторам [Lieberman-Aiden E., van Berkum N.L., Williams L. et al. Comprehensive Mapping of Long-Range Interactions Reveals Folding Principles of the Human Genome // Science. 2009. Vol. 326. P. 289–293] прийти к заключению о фрактальности упаковки хроматина на разных уровнях его организации.

Присуждена Нобелевская премия Элизабет Блэкбёрн, Кэрол Грейдер, Джек Шостак за открытие механизмов защиты хромосом теломерами и фермента теломеразы.

2010 г. — описан микробиом человека, отражающий тот факт, что на 1 клетку млекопитающих приходится 9 клеток его одноклеточных симбионтов [E. Pennisi Body's Hardworking Microbes Get Some Overdue Respect // Science. 2010. Vol. 330. No. 1619]. Только в кишечнике человека присутствует не менее 1000 видов, которые приносят многоклеточному организму в 100 раз больше генов, чем у него есть в собственном геноме. Предпринят большой проект по секвенированию (проект микробиоты человека) видов микробиоты в кишечнике, на коже, во рту, носу и в женском урогенитальном тракте, благодаря которому уже секвенировано 500 соответствующих микробных геномов из 3000 запланированных.

Генетически модифицированные сельскохозяйственные культуры выращивают на общей площади более чем 200 млн га. Прирост почти на два

порядка по сравнению с 1996 г. Впервые полностью сконструирован живой работающий организм. Веллер Дж. (Weller J.I.) и др. выполнили геномное сканирование генома крупного рогатого скота по вариабельности количества копий нуклеотидных последовательностей длиной от 100 до 1000 п.о. (Copy Number Variability — CNV). Британский ученый Роберт Эдвардс, благодаря исследованиям которого в 1978 г. родился первый ребенок, зачатый в пробирке, получил Нобелевскую премию за разработку метода экстракорпорального оплодотворения, благодаря которому многие считавшиеся бесплодными пары получили счастливую возможность стать родителями. Впервые искусственным (кассетным) синтезом создан геном живого организма микоплазмы (*M. mycoides* JCVI-syn1.0) [Gibson D.G., Glass J.I., Lartigue C. et al. Creation of a Bacterial Cell Controlled by a Chemically Synthesized Genome, 20 May 2010: www.sciencexpress.org]. Описан ДНК транспозон хелитрон, который, как предполагается, подвержен горизонтальному переносу у всех таксонов без исключения, включая растения, животных, вирусы, объединяя, таким образом, все живые организмы [Thomas J., Schaack S., Pritham E.J. Pervasive Horizontal Transfer of Rolling-Circle Transposons // *Genome Biol. Evol.* 2010. Vol. 2. P. 656–664].

2011 г. — расшифрован геном картофеля. Обсуждаются связи между нанометровым и микрометровым масштабами организации генетического материала [Глазко, 2011].

2012 г. — согласно официальным данным, трансгенные растения выращивают сейчас 28 стран на площадях более 170 млн га. Наиболее известные из них — США, Бразилия, Аргентина, Индия, Канада. Выращиваются трансгены и в Восточной Европе — в Польше, Чехии, Словакии, Румынии [<http://www.isaaa.org>]. По данным International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (ISAAA), в 2012 г. ГМ-культуры выращивали на площади в 170,3 млн га, на 10,3 млн больше по сравнению с 160 млн га в 2011 г. США являются лидером по использованию ГМ-культур, их посевы занимают 69,5 млн га. Пять стран ЕС засеяли ГМ *Vt*-кукурузой 129071 га — на 13% больше, чем в 2011 г. Среди этих стран лидером является Испания, в которой на 116307 га выращивалась *Vt*-кукуруза, что на 20% больше, чем в 2011 г. По данным ISAAA, с 1996 по 2011 г. использование ГМ-культур повысило продуктивность растениеводства на 98,2 млрд долл.; уменьшило применение активных пестицидов на 473 млн кг, что способствовало, в частности, сохранению биоразнообразия путем сбережения от использования 108,7 млн га земли. Общая стоимость семян ГМ-культур в мире в 2012 г. оценивалась в 15 млрд долл.

2014 г. — расшифрован геном пшеницы.

Проект генома человека был всемирным проектом, целью которого было составить карту всего генетического состава генома, вплоть

до уровня точной последовательности нуклеотидов ДНК. Эта цель была успешно завершена, и теперь внимание обращено на установление продуктов генов — белков, которые, если они имеют дефекты, вызывают генетические заболевания. Представляется, что будущее нашего вида действительно в умелых руках тех, кто работает в области исправления генетических дефектов методами генной инженерии, пока оно направлено в сторону уменьшения страданий и установления более высокого качества жизни. Открытие препаратов, избавляющих от генетических заболеваний, будет иметь важное значение для нашего эволюционного будущего. Но снова появляется эта мера, называемая нормой, и сразу же возникают этические проблемы.

Конкретная забота состоит в следующем: могут ли эти только что открытые и практические методы исправления генетических дефектов методами генной инженерии быть использованы в целях, не связанных с медициной? Конечно, могут, но следует ли поощрять и разрешать такой вид генетической инженерии? В будущем существует возможность для составления каталогов генетических черт, которые люди могли бы выбрать для своих еще не родившихся детей. Нет, сейчас это невозможно, и до этого, может быть, еще далеко. Гены по замыслу и косметическое применение манипуляций с генами — еще только мечта (или кошмар). Но существующие методы начинают давать возможность передачи генов от животных или растений в человеческий геном. Это, конечно, изменит облик будущих людей. В будущем можно ожидать трансформаций наших генов способами, которые невозможны при естественной эволюции. Мы уже отвергли точку зрения о разумном замысле. Но теперь люди принимают на себя роль, которую некогда играли эволюция и естественный отбор. Предполагаемый термин для этого контроля мог бы быть «культурный отбор». Поскольку культурный отбор существует в умах людей, у него широчайший диапазон воплощений, в принципе не имеющих пределов, кроме, пожалуй, установленных добросовестными исследователями, комиссиями по этике биологических исследований и внимательной публикой. От генов по замыслу теперь реально перейти к детям по замыслу. Передача генов важна с медицинской точки зрения для исправления генов, имеющих недостатки.

Эндоэкологическое (на уровне клеточного пространства) отравление (ЭЭО) высших организмов токсинами, тяжелыми металлами и радионуклидами сопровождается ответной реакцией их геномов. Подобно тому как для многоклеточного организма вода, воздух, почва и биота в целом представляют окружающую среду, для каждой клетки также имеется своя межклеточная окружающая среда внутри организма. Она представляет собой волокна биополимеров и межтканевую постоянно движущуюся жидкость, в которую с недавних пор стали поступать в повышенных ко-

личествах из окружающей среды тяжелые металлы, химические токсины и радионуклиды. Естественно, организмы за 100–150 лет техногенной революции не научились выводить их из себя — для этого нужны тысячи лет эволюции. В результате развивается хроническое отравление — «интоксикоз» межклеточной среды.

Процесс концентрации в межклеточных пространствах технотехнических загрязнителей, вызывающих, в частности, мутации, назван Ю.М. Левиным *эндоэкологической болезнью* (ЭЭБ). Сейчас она принимает характер эпидемии. Ею охвачено 50% территории России, где проживает 70% населения. Именно ей мы обязаны резким ростом смертности детей и взрослых, снизившим срок жизни мужчин до 56 лет, увеличением числа инвалидов, началом разрушения механизма генетической воспроизводимости. Эндоэкологическое отравление предопределило и появление синдрома патологического старения детей и их интеллектуальной деградации.

Разумеется, медицина уже нашла методы борьбы с ЭЭБ. Трудом Ю.М. Левина разработана эндоэкологическая реабилитация больных ЭЭБ людей, с помощью которой удаляется до 90% межклеточных загрязнителей. Однако поддерживать здоровье, по крайней мере, половины населения Земли методом реабилитации по Левину — невыполнимая задача. Самое же главное заключается в том, что эпидемией ЭЭБ охвачены не только люди, а все живое, особенно водные организмы — рыбы и моллюски. Понятно, что их, а также наземных диких животных и растения реабилитировать по Левину невозможно. Ну а человек, даже здоровый, существовать вне биоты, вне биосферы не сможет.

С последствиями действия некоторых техногенных загрязнителей человечество может как-то бороться. Но на прекращение или существенное уменьшение в течение 10–20 лет выбросов тяжелых металлов, хемотоксинов и радионуклидов в окружающую среду наша техногенная цивилизация в принципе не может рассчитывать. Для этого требуется изменить всю существующую технологию промышленности и сельского хозяйства, что невозможно ни по техническим, ни по экономическим причинам.

На начало века, по официальным данным, число россиян, испытывавших воздействие вредных веществ, в 10 раз превышающих ПДК, составляло 41 млн человек. Россия производила за год 122 млн т опасных отходов, и по индексу Dwi — отношению ядовитых и вредных отходов к общему объему — российское производство (Dwi — 4,53) оказывалось в 20 раз опаснее для человека, чем западноевропейское (Dwi Германии — 0,26, США — 1,49). Совокупное воздействие токсических веществ объясняет быстрый рост дебилизации населения и в мире, и в России особенно. Так, если в 1991 г. в СССР было 50 млн маргиналов и 5% дебилов, то в 1995 г. только в Москве стало уже 10% дебилов. Среди новорожден-

ных в России, по утверждениям ряда источников, уже сейчас 16% генетически неполноценных. То есть эта цифра вплотную приближается к рубежу в 18%, с которого начинается генетическая деградация нации в целом.

Предсказать время и срок достижения критической точки концентрации элементов-отравителей, после которой изменения геномов эукариот пойдет лавинно и необратимо, наука пока не может. Скорее всего эту точку страны СНГ начнут переходить уже в ближайшие десятилетия, и для разных организмов и в районах с разным уровнем состояния экологической среды она будет различна. Можно думать, что такие, к примеру, города России, как Карабаш, Чапаевск и Норильск, и такие области, как Кемеровская, уже сейчас близки к «эндоэкологическому Чернобылю». Положение в Украине и во многих странах СНГ, очевидно, аналогично.

Самым страшным в современной ситуации является то, что 95% населения мира, включая его политическую элиту, не понимают последствий тотальной экокатастрофы для себя и своих потомков, не задумываются о генетическом грузе человечества и о путях выхода из кризиса. Современное человечество и наши политические лидеры удивительно похожи на персонажей знаменитой картины Питера Брейгеля. На ней изображены шесть слепых, держащихся за спины друг друга и бредущих по тропинке вдоль оврага за слепым же вожаком. Он оступился и падает вниз. Остальные в смятении, не понимая что случилось, шагают за ним в пропасть тоже.

Глобальный экологический кризис (ГЭК) уже почти никем не отрицается и признан ООН. Библейский же Армагеддон, предвидимый мудрецами во все времена как наказание за нарушение «божеских заповедей», а на современном языке — экологических законов и геохимических круговоротов, может стать реальностью уже в ближайшие 30–40 лет. Некоторыми учеными он именуется «коллапсом цивилизации», который, по их мнению, наступит не позже середины этого века.

Хуже всего то, что наука не может предсказать, когда в каждом конкретном районе и для каждого конкретного организма будет достигнут критический предел ЭЭО, за которым начнутся лавинно-необратимые повреждения геномов. Но то, что мы неотвратимо и быстро приближаемся к нему, — это неоспоримый факт [Зубаков, 2001; Глазко, Чешко, 2007].

Проблема очистки сточных вод возникла давно. Рост городов, концентрация и рост числа промышленных предприятий заставили многие европейские страны еще в XVIII–XIX вв. принять некоторые специальные законы и правила охраны вод, подчас весьма строгие. Например, в России требовалось, чтобы в выходных прудах очистных сооружений текстильных фабрик жила рыба. При отсутствии точных и чувствительных мето-

дов химического анализа такой естественный биологический индикатор чистоты воды был достаточно надежен. Во Франции промышленное предприятие имеет право забирать воду из реки только ниже по течению от места сброса собственных стоков, что, естественно, заставляет фирмы заботиться об их качественной очистке.

Каждое предприятие или цех имеет, как правило, сравнительно небольшой набор вредных веществ, сбрасываемых со сточными водами. Наиболее эффективна очистка стоков от этих примесей в специализированных очистных сооружениях того же цеха. Например, в стоках гальванических цехов обычно содержится много хрома, никеля, кислот. Нейтрализовать эти растворы, осадить хром и никель проще и дешевле тут же, в специализированном очистном сооружении. Только глубокоочищенные сточные воды можно сбрасывать в городскую канализацию, которая собирает все стоки на городские очистные сооружения.

Одна из наиболее устойчивых тенденций последних десятилетий — рост концентрации углекислого газа в атмосфере. В конце XIX — начале XX в. она составляла 0,029%, в настоящее время — 0,034%, т.е. увеличилась примерно в 1,12 раза. Ежегодный рост содержания двуокиси углерода в воздухе медленно, но неуклонно увеличивается; и если эта тенденция не изменится, содержание этого газа в воздухе к 2020 г. удвоится. Следствием этого станет развитие парникового эффекта и подъем средней температуры на Земле.

Различные расчеты предсказывают потепление вследствие парникового эффекта в среднем на 3–5 °С, но достоверность таких количественных прогнозов невелика, поскольку практически невозможно учесть все сопутствующие явления. Пока еще нет методов, которые давали бы возможность с высокой степенью надежности определить изменения систем океанских течений и воздушных потоков в условиях нового теплового баланса, учесть изменения из-за таяния полярных льдов и противоположно влияющего увеличения облачного покрова планеты. Вместе с тем опасность таяния ледниковых полярных льдов заключается не только в увеличении облачного покрова планеты, что приведет к дальнейшему разогреву, но и в возможном повышении на несколько метров и даже десятков метров уровня Мирового океана. Если это произойдет, огромные площади низменностей, на которых ныне живет не менее четверти человечества, окажутся под водой.

Подъем уровня Мирового океана существенно сократит площадь территорий, пригодных для жизни людей и ведения сельского хозяйства. Возникнут необычайно сложные и трудноразрешимые проблемы в экономике, демографии, политике, связанные с массовым переселением людей, острым недостатком продовольствия, ростом социальной и, естественно, международной напряженности. Но даже если ценой огромных

и неизбежных потерь человечество сумеет приспособиться к жизни в новых климатических условиях, этого не сможет сделать подавляющая часть видов животных и растений, что приведет к катастрофическому уменьшению видового разнообразия жизни на Земле и поставит под вопрос саму возможность сохранения биосферы современного типа, в которой только и может существовать человек [Розанов, 2001].

Совсем недавно началось вселение на Американский континент европейского моллюска дрейссены. Это двустворчатый моллюск, раковина которого плотно прирастает к твердому субстрату — камню, бетону, металлу. Родина дрейссены — низовья рек бассейнов Черного и Каспийского морей. Личинки дрейссены свободно плавают, пока не осядут на любой твердый субстрат, которым может оказаться днище судна, раковина другого моллюска, металлические сетки и трубы водозаборных сооружений. На своей родине и в реках Европы, в которые дрейссена проникла еще в прошлом веке, у нее есть естественные враги: молодые моллюски во множестве поедаются многими рыбами отряда карпообразных, в частности плотвой, которые ограничивают рост их численности. На Американском континенте дрейссена впервые была обнаружена в 1988 г. в озере Сент-Клер, куда ее личинки попали с балластными водами судов, приходивших из Европы. При отсутствии в системе Великих Озер врагов дрейссены, которую американцы называли «зебро-моллюском», уже в первые годы необычайно быстро размножилась, стала забивать своими раковинами водозаборные сооружения и заставила истратить на ремонтные работы сотни миллионов долларов.

Однако дрейссена оказалась опасной не только для технических сооружений. Массовое размножение этого моллюска-фильтратора, активно поедающего мелкие планктонные организмы, приводит к значительному снижению численности многих аборигенных видов моллюсков и рыб, чья молодь также питается мелкими планктонными животными и водорослями. Весь биоценоз, очень хрупкий, может измениться за счет подавления видов, связанных с планктоном, и стать биоценозом преимущественно бентосного типа, в котором многие аборигенные виды окажутся перед угрозой исчезновения.

В 1993 г. конгресс США издал труд «Вредные нетуземные виды в Соединенных Штатах», в котором констатируется, что дрейссена «завоевала» уже 18 восточных штатов, а ее потенциальный вред оценивается более чем в 3,3 млрд долл.

Сравнимую по масштабам с «дрейссеновой» катастрофу в экосистеме Черного моря вызвал гребневик мнемнопсис, личинки которого в конце 1970-х гг. попали туда также с балластными водами судов, приходивших из Америки. Этот гребневик обитает в эстуариях американских рек и в разной степени опресненных прибрежных водах, поэтому он приспособ-

соблен к широкому диапазону изменений солености воды. Мнемииопсис — хищник, питающийся самыми различными планктонными животными — от мелких ракообразных и их личинок до мелких рыб. Это типичный эврибионт как минимум по отношению к двум факторам: к солености (эвригалинный вид) и к пищевым ресурсам (эвритрофный вид). Не имея в Черном море естественных врагов, он быстро размножился и произвел значительные опустошения в исходных экосистемах как прибрежных вод, так и открытого моря. В результате вызванного мнемииопсисом снижения численности большинства планктонных животных значительно уменьшилась кормовая база многих промысловых рыб, уловы которых сократились в несколько раз. Пока трудно предсказать, какой станет экосистема Черного моря после установления равновесия, когда численность гребневика-вселенца стабилизируется при новом уровне численности других животных и изменении характеристик их воздействия на сообщества водорослей и высших растений [Глазко, Чешко, 2007].

По мере исчерпания возможностей техногенной оптимизации агроэкосистем все большее влияние на вариабельность величины и качества урожая будут оказывать нерегулируемые факторы внешней среды. Факт — из-за действия экологических стрессоров потенциальная урожайность современных сортов и гибридов реализуется в среднем лишь на 20–30%.

Взаимодействие первобытного человека с биосферой ничем не отличалось от аналогичного взаимодействия обычного гетеротрофного организма. Однако постепенно, но с заметным ускорением круг используемых человеком природных ресурсов расширялся одновременно с развитием функций головного мозга и изменением качества пищи. В ходе исторического времени возникают различные цивилизации, государства, складываются новые экономические отношения, возникает наука, культура, искусство и различные религиозные течения. Однако до середины XIX в. все страны входят еще в единую аграрную цивилизацию, которая принципиально не изменила общий биогеохимический круговорот вещества на нашей планете. В общем, деятельность человека в условиях аграрной цивилизации включалась в общий биогеохимический круговорот и не изменила притока энергии в биосферу. Но положение стало резко меняться в промышленно развитом обществе, в индустриальной цивилизации, в которой мы пребываем в настоящее время. Во второй половине XIX столетия начинается интенсивный рост промышленности, железнодорожного транспорта, возрастает потребление ископаемого топлива и, соответственно, все больше нарушается естественный круговорот вещества в биосфере. В этих условиях сохраняются прежние процессы в биосфере, но появляются новые неблагоприятные явления. Центральной проблемой ДНК-технологии в настоящее время является необходимость, используя

опыт природы, отработать оптимальную стратегию и тактику решения проблемы построения агросистем с устойчивым развитием.

На чем основана уверенность в возможности ее решения? Агросфера в основном функционирует на возобновляемом источнике — энергии Солнца. Безусловно, сегодня для обеспечения ее продуктивности, достаточной для выживания населения Земли, необходимы существенные затраты антропогенной энергии (термин не очень удобный, но имеется в виду как энергия ископаемого сырья, так и атомная энергии). Однако потребности в этой энергии могут быть существенно сокращены за счет биологизации многих процессов, например за счет оптимизации азотфиксации. Кроме того, значительную экономию энергии и сокращение отрицательного воздействия на окружающую среду может оказать создание агроландшафтов, обеспечивающих устойчивое развитие сельских территорий за счет рационального размещения культур, минимальной обработки почвы, включая нулевую, широкое использование биологически активных веществ и т.п. Важное значение будет иметь информатизация агросферы, основанная на постоянном мониторинге ситуации и соответствующей оптимизации решения возможных проблем с минимальными затратами. Кроме этого, имеются еще практически не реализованные возможности биологизации агросферы — значительное увеличение разнообразия возделываемых культур, что придаст системе дополнительную устойчивость. Интенсивность антропогенных воздействий на биосферу перешла границу критической, поставив существование человечества под вопрос.

Селекция в известной степени вынуждена постоянно колебаться в выборе между ограничением изменчивости признаков и созданием новой изменчивости. Исходный материал при селекционном процессе постепенно улучшается. Задача селекционера — из генетически разнородной исходной популяции отобрать лучшие генотипы. Они послужат основой и приведут к созданию новых сортов. При этом одновременно эти генотипы рекомбинируются благодаря скрещиваниям и создают новую изменчивость. И так многократно. Благодаря этому в генофонд постоянно вводятся новые изменения. Иначе раньше или позже существующее генетическое разнообразие было бы исчерпано. Исследования показали, что селекционный вклад в увеличение урожаев в Центральной Европе в зависимости от культуры ежегодно составлял 1–2%. Адаптивное растениеводство обладает фундаментальными особенностями, отличающими его от других наук. Они обусловлены его принципиально обобщающей и интегрирующей функцией, в итоге описывающей основные характеристики живого в масштабах биосферы и его сетевые взаимодействия с различными абиотическими факторами (А.А. Жученко, 2011). Сложность и многообразие задач экологической генетики, накопленная в этой области

информация свидетельствуют о неисчерпаемых возможностях ее применения для решения прикладных вопросов ускорения и повышения эффективности селекционной работы по формированию оптимального генетического компонента агроэкоценозов. Особые надежды появляются в области исследований, получившей название «эволюция генетических систем преобразования генетической информации» (эволюция факторов эволюции).

Феномика

Традиционно анализ может проводиться на фенотипическом уровне, прежде всего, по морфологическим и физиологическим признакам. О прямом селекционном успехе говорят, если отбор на один признак приводит к изменениям по другим признакам, которые коррелируют с селективируемым признаком. Ответ на селекцию — изменения часто нежелательны у вторичных признаков, и нельзя не считаться с коррелирующими «селекционными ошибками-неуспехами». Коррелирующие селекционные успехи очень распространены и достаточно хорошо отображены в селекционно-генетическом эксперименте с кукурузой. В американских исследованиях было отобрано 15 поколений: с одной стороны, на длинные початки, а с другой стороны, на короткие початки. В каждом поколении длина початка измерялась у 4000 растений и каждые 300 растений с длинными початками или с короткими початками скрещивались друг с другом. Хотя при отборе учитывалась исключительно длина початка, проявлялись изменения и по другим признакам. Отбор на длинные початки привел к появлению более высоких растений с поздним цветением; отбор на короткие початки, напротив, привел к появлению более низких растений с ранним сроком цветения. Но оба направления селекции привели к снижению урожайности. Это неудивительно при отборе на короткие початки. При отборе на длинные початки это селекционное направление приводит к появлению более высоких, менее устойчивых растений с мелкими зернами. Это также наблюдалось и в других случаях, когда односторонний отбор только на один компонент урожайности может привести к снижению урожая. То есть вы никогда не должны вести отбор только на один признак, не учитывая другие хозяйственно-ценные признаки.

Для оценки фенотипов при селекционной работе конструируются очень дорогие автоматические приборы. Растения в теплице движутся на ленте в камеру с нормальным светом, и также на растения со всех сторон воздействуют инфракрасным светом. Если комбинировать с приемами для анализа изображения, то можно изучать в год на такой установке, например, до 100 тыс. растений риса и при этом учитывать урожайность, число зерен и их размер, фотосинтетическую активность,

биомассу листьев и корней и другие признаки. Основных преимуществ такого метода меньше, потому что большое количество генотипов может быть охарактеризовано по-прежнему возделыванием в поле продуктивными «высокопроизводительными» приемами. Преимущества автоматизированных систем фенотипирования при контролируемых условиях состоят в том, что многие признаки (площадь листьев, биомасса и др.) могут быть оценены значительно точнее, и прежде всего наблюдения могут проводиться непрерывно, без нарушений и субъективности исследователя. Эти наблюдения проводятся в искусственных условиях, и многие важные свойства, такие как глубина проникновения корней или полевая устойчивость против главных болезней, не исследуются. Для некоторых селекционных целей эта система идеальна, для других — непригодна.

Геномная селекция — это не новая идея. Конечной целью ее является предсказывать на основе последовательности ДНК «геномную селекционную ценность» и применять в качестве инструмента для селекции. Еще предстоит выяснить, как это происходит в действительности. Интереснее всего с помощью этого подхода анализировать очень сложные признаки с участием очень многих генов прежде всего для урожайности. Смысл этого в том, чтобы идентифицировать гены, принимающие участие через *QTL*, или гены-кандидаты, и целенаправленно изучить их взаимодействие. Увеличение биологической сложности организмов в процессе эволюции происходило наряду с увеличением функциональной нагрузки на продукты экспрессии геномов. Один и тот же продукт «приспосабливался» для выполнения множества функций в процессе развития организма и усложнений клеточной дифференцировки в многоклеточных организмах. Примеры такой плейотропии многочисленны.

ДНК-технология открыла исключительные возможности при производстве лекарственных веществ. С применением методик рекомбинантных ДНК разработаны технологии и получены физиологически-активные белки, такие как инсулин, соматостатин, соматотропин и интерфероны и т.д. Ген синтеза интерферона перенесен в геном кишечной палочки (*E. coli*). Достаточно высокая экспрессия этого гена в бактериальном геноме позволила решить проблему как производства интерферона, так и снижения его стоимости. Так, например, 50 мг интерферона, полученного классическим способом (из крови человека), стоило когда-то около 2 млн долл., тогда как производство 1 мг интерферона по новой технологии стоит несколько центов. Поэтому генетическая инженерия имеет широкое применение, в частности из-за дешевизны конечных продуктов, например лекарств при разработке методов и способов радикального лечения наследственных болезней человека. Достаточно широко используются методы искусственного оплодотворения в пробирке, клонирования и трансплантации эмбрионов.

ДНК-технологии в создании новых организмов

За время существования сельского хозяйства (примерно 13 тыс. лет) суммарный набор видов культурных растений (продовольственных и технических) и домашних животных оставался почти неизменным, происходил только обмен между различными народами и континентами. Совершенствование пород и сортов с помощью селекции — искусственного отбора — шло медленно (хотя и много быстрее, чем естественная эволюция). В задачи трансгеноза входило ее ускорение. ДНК-технология — совокупность приемов, методов и технологий, в том числе технологий получения рекомбинантных рибонуклеиновых и дезоксирибонуклеиновых кислот, по выделению генов из организма, осуществлению манипуляций с генами и введению их в другие организмы. Термин «генная инженерия» ввел в научный оборот нобелевский лауреат Э. Тэтум еще в 1963 г., он же четко определил ее задачи. Возникновение ДНК-технологии условно относят к 1972 г., когда была создана первая рекомбинантная молекула ДНК (П. Берг и др., 1972, США).

Можно выделить три основных типа генных воздействий:

- введение в организм чужеродных генов, как полученных из генома других организмов, так и синтезированных искусственно для изменения его свойств и признаков;
- избирательная активация гена, «адресное» разрушение гена, «антисмысловая» блокировка гена или производимой им РНК, позволяющая вывести из строя любой ген внутри живой клетки;
- направленное изменение гена (адресный мутагенез *in vivo*, генная инженерия *in vitro* — *ex vivo*).

Наиболее распространенный и коммерчески реализованный в настоящее время тип генного воздействия — введение в организм чужеродных генов или регуляторных последовательностей. Создание трансгенного организма осуществляется в несколько этапов: получение генетического материала (фрагментов ДНК — генов); включение фрагмента чужеродной ДНК в вектор; перенос внесенных генов в клетку, закрепление их в ней; идентификация (скрининг и селекция) клеток, которые приобрели желаемые гены. Возможны три направления введения генов — в клетки бактерий и дрожжей, в соматические клетки (растений, животных, человека) и в зародышевые клетки.

Потенциальные возможности улучшения сельскохозяйственных растений методами ДНК-технологий огромны. Пока не видны принципиальные ограничения в осуществлении многих идей, связанных с улучшением сельскохозяйственных растений, обусловленных применением молекулярно-генетических исследований хозяйственно-ценных признаков. В этом отношении все большее значение приобретает более полное изу-

чение молекулярной генетики клеточных органелл. Вопрос состоит в том, как можно определить и выделить гены или регуляторные последовательности, ответственные за проявление ряда ценных признаков у растений.

От решения этого вопроса, т.е. от развития частной генетики хозяйственно-ценных видов, зависят и практические результаты. Гены, искусственно введенные в геном многоклеточных организмов и передающиеся от родителей потомству, получили название трансгенов, процесс такого введения обозначили трансгенозом, а животные или растения, содержащие трансгены в геноме своих клеток, стали называть трансгенными или генетически модифицированными организмами (ГМО). Все это привело к возникновению нового, быстро развивающегося направления с уникальным знанием об особенностях экспрессии генов и биосинтеза белков в онтогенезе, а также о возможности изменения фенотипа организмов и коррекции мутантного фенотипа с использованием трансгеноза.

Технология трансгеноза развивается стремительно, так же как и восприятие его общественным мнением. Два основных вопроса остаются наиболее актуальными — какие гены трансфицировать и каковы могут быть последствия?

Создание генетически модифицированных растений чаще всего выполняется для решения следующих задач:

- 1) в целях увеличения урожайности:
 - а) резистентность к патогенам;
 - б) резистентность к гербицидам;
 - в) устойчивость к температурам, различному качеству почв;
 - г) улучшение характеристик продуктивности (вкусовых качеств, облегчение метаболизма);
- 2) в терапевтических целях:
 - а) продуценты терапевтических агентов;
 - б) продуценты антигенов, пищевая «пассивная» иммунизация [Глазко, Чешко, 2007].

У животных наиболее успешны в этой области два направления: прикладное, связанное с генами, контролирующими синтез белков, которые используются в дальнейшем при производстве фармацевтических препаратов; исследовательское — с целью изучения некоторых недоступных ранее для анализа аспектов структурно-функциональной организации генома.

Можно выделить следующие направления, в которых активно развиваются методы получения генетически модифицированных организмов животных:

- 1) в целях увеличения продуктивности:
 - а) конструкции, влияющие на экспрессию генов, связанных с эндокринной системой;

б) для тиражирования геномов животных с высокой продуктивностью;

2) в терапевтических целях:

а) получение животных — «биореакторов», продуцентов терапевтически важных агентов;

б) получение клеточных популяций, способных преодолевать барьер «трансплантат против хозяина»; создание модифицированных животных для исследования механизмов развития различных заболеваний и изучения функции отдельных генов, в частности «нокаутные» мыши с «выбитым» определенным геном.

Трансгенные растения с общей устойчивостью к болезням

Каждый год в мире значительная часть сельскохозяйственной продукции (до 50%) теряется из-за болезней и вредителей. Основные методы защиты растений состоят в строгом соблюдении карантина в очагах поражения, соблюдении севооборота, фитосанитарной обработке семян и применении пестицидов. Однако самым дешевым и самым эффективным методом борьбы с болезнями и вредителями считается создание сортов с повышенной устойчивостью к широкому спектру болезней. Основная особенность этого подхода — необходимость того, чтобы гены устойчивости к болезням и вредителям могли быть выделены, клонированы и перенесены между филогенетически отдаленными видами растений, что практически невозможно при использовании традиционных методов селекции.

Для этих целей могут быть использованы устойчивые и неустойчивые к какому-либо типу болезней изогенные линии. Предполагая, что толерантность определяется одним геном, можно клонировать мРНК двух контрастных по устойчивости изогенных линий. ДНК такого продукта могла бы использоваться для тестирования геномной последовательности.

Явление индуцированной устойчивости, при котором однажды инокулированное патогеном растение через несколько дней становится более устойчивым к другой инфекции, коррелирует с индукцией различных патоген-связанных белков. Продолжительное их экспрессирование могло бы увеличить устойчивость к болезням.

Одним из механизмов перекрестной защиты являются нарушения репликации и трансляции белков оболочки вируса. Подобный факт упрощает регистрацию и коммерческое использование растений, устойчивых к вирусам.

Устойчивость растений к вирусным болезням, достигнутая таким образом, обеспечила сохранение урожая ряда овощных культур: кукурузы,

пшеницы, риса, сои и т.д. Альтернативными подходами повышения резистентности к вирусным болезням являются перенос антисмысловой РНК, насыщение клеток смысловой (конкурентной) РНК с целью удаления фермента, необходимого для репликации вируса, и введение неструктурной последовательности гена вируса. Рекомендованы несколько вариантов для решения этой важной в селекции растений проблемы.

Клонирование искомым генов устойчивости растений.

- Анализ групп сцепления таких генов с известным молекулярным маркером на хромосоме.
- Применение техники адресовки генов («gene-tagging»).
- Использование литических ферментов из насекомых, которые кодированы единичными генами.
- Изолирование и перенос в растения тех же генов бактерий, которые контролируют синтез соответствующих токсинов или других компонентов, вызывающих болезни растений.

Прогресс в получении трансгенных растений, устойчивых к насекомым, достигнут благодаря переносу генов, контролирующих серию белков из *Bacillus thuringiensis*, летальных для определенных групп насекомых-вредителей. Большая часть этих белков токсична для личинок *Lepidoptera*, но некоторые из них — и для личинок семейств *Coleoptera* и *Diptera*.

Показано, что трансгенные растения томатов, табака и хлопка проявляют высокую устойчивость к личинкам как в лабораторных условиях, так и в открытом грунте. Другой путь создания трансгенных растений, устойчивых к насекомым-вредителям и нематодам, — перенос генов, контролирующих образование вторичных метаболитов, которые посредством различных механизмов подавляют нормальное развитие вредителей. Среди наиболее распространенных защитных реакций встречаются: усиление клеточной оболочки; синтез вторичных метаболитов (в том числе антибиотиков типа фитоалексинов); окисление фенольных соединений; синтез широкого спектра защитных полипептидов, которые принято называть протеинами, связанных с патогенезом (*PR*) и сгруппированных в группы: *PR-1*, *PR-2* (*P-1,3*-глюконазы), *PR-3* (хитиназы), *PR-4*, *PR-5* (томатиноподобные протеины) и *PR-6* (ингибиторы протеаз).

В обеспечении защиты растений от заболеваний, вызываемых грибами, бактериями и вирусами, участвует ряд ключевых механизмов, модификация которых в настоящее время уже используется для получения устойчивых растений.

В качестве основных этапов защиты растений от заболеваний можно выделить следующие.

Усиление сигнальных систем, участвующих в формировании иммунного ответа. Растения узнают патоген по сигнальным молекулам — элиситорам. У многих видов растений в ответ на атаку патогенов возникает

системно индуцированная устойчивость (*SAR*). Идентифицирован ряд генов *SAR*. Трансгенные растения, в которых экспрессировалась кДНК этих генов, характеризовались высоким уровнем толерантности к патогенам. Отобраны некоторые химические соединения (2,6-дихлоризоникотиновая кислота), индуцирующие *SAR* при обработке ими растений. Частично изучен биосинтез салициловой кислоты, ее метаболизм и механизм действия. Предшественником салициловой кислоты является бензойная кислота. Метилсалицилат — основной летучий компонент салициловой кислоты, синтезируемый растением в подвергнувшихся атаке патогена частях. Он может служить воздушным сигналом, активирующим синтез соединений, определяющих устойчивость растения к атаке патогена в клетках растения, прилегающих к подвергнутым атаке патогенов.

Реакция сверхчувствительности, проявляющаяся в ответ на атаку всех типов патогенов, — одна из широко распространенных защитных реакций растений. Обычно она связана с гибелью клеток растений в сайтах непосредственной атаки патогена, приводящей к локализации зоны поражения.

Геномика

Учитывая нуклеотидное разнообразие в участках, расположенных в анонимной части генома, можно отследить лишь малую долю генетического разнообразия, которая является функционально значимой. Новые методы использования микрочипов в сфере геномики предлагают новый подход. Геномика изучает все гены сразу во всем организме. Микрочипы (ДНК-чипы) позволяют расположить геном растения в виде пространственной матрицы. Например, геном *Arabidopsis* можно расположить в виде 100 тыс. капель на одном предметном стекле микроскопа, который можно воспроизводить и многократно использовать как базовую матрицу. Прямым подходом для молекулярного анализа генотипа является секвенирование его ДНК. В качестве первого растения был полностью секвенирован геном *Arabidopsis* (2000 г.). Наряду с ним, были секвенированы геномы некоторых других видов, таких как рис, кукуруза, капуста, пшеница и многие другие. Программа «Геном» (современная геномика) дала возможность определить химическое строение генов и их расположение на хромосомах. Эта информация в принципе достаточна для того, чтобы собрать искусственную хромосому, ввести ее в клетку и выяснить, как она работает. Геномные исследования проводятся очень большими национальными и международными исследовательскими центрами. Так как молекулярные основы жизни универсальны, то исследования в области растений извлекают выгоду от технического прогресса, который разви-

вается в генетике человека и микроорганизмов. В прошедшие 10 лет было быстро улучшено и упрощено много методик по генным приемам.

Так, выполнены исследования, позволяющие определить гены, участвующие в ответе растений на широкий спектр экологических стрессов, в частности у *Arabidopsis*. Обнаружена значительная аналогия между генами, проявившимися в ответ на действие факторов различных стрессирующих воздействий. Экспрессия одинаковых 34 генов изменилась в условиях нехватки кислорода и при скарифицировании, и 5 генов отреагировали на все три вида стресса (гипоксия, скарифицирование и засуха). Выявление таких генов универсального ответа на разные типы стрессирующих воздействий у *Arabidopsis* может снабдить нас мощным инструментом для скрининга популяций на предмет способности адаптации сельскохозяйственных культур к стрессу. Подходы структурной и функциональной геномики дают возможность связать дифференциальную экспрессию различных геномных элементов с генетически обусловленной адаптивной изменчивостью.

Для многих направлений созданы приемы, которые могут проводиться при очень высокой пропускной способности генотипов, так называемый «высокопроизводительный скрининг». При транслокациях и инверсиях сегментов генома меняется порядок и ориентация генов относительно направления репликации. Это может влиять на их функционирование. Возможно, что порядок генов связан с особенностями уровня суперспирализации хромосомы.

Большинство промоторов реагируют на уровень суперспирализации, которая автономно регулируется в отдельных доменах хромосомы. Локализация генов в том или ином участке хромосомы может быть важна для адаптации к определенным условиям роста.

Секвенирование ДНК

Современные методы позволяют читать генетический текст (любую последовательность нуклеотидов в любом организме), эта последовательность четырех нуклеотидов читается «буква за буквой». Предложен способ, который позволяет читать целыми словами и даже предложениями. Для этого создается так называемый секвенирующий микрочип. Методы, первоначально использованные в геномном анализе, были созданы F. Sanger, и по его имени назывались «Sanger-секвенирование». Очень производительным методом является «*next generation sequencing* — новое поколение секвенирования». Их очень высокая производительность основана прежде всего на том, что секвенируются (считываются) не только фрагменты отдельных ДНК, но много фрагментов одновременно. Используя флюоресцентные метки различного цвета, сразу можно наблюдать

разноцветную картинку. Вместо тысяч кропотливых лабораторных операций теперь надо провести буквально две-три и получить при этом тот же объем информации. Секвенирующие микрочипы способны повысить производительность до миллиона нуклеотидов. Важно подчеркнуть, что сопоставление секвенированных нуклеотидных последовательностей у разных видов часто позволяет получить неожиданную информацию об эволюционных событиях, о механизмах возникновения и поддержания генетической изменчивости. В разработке находится «*третье поколение секвенирования*», при котором можно отказаться от амплификации ДНК и напрямую секвенировать отдельные молекулы ДНК с помощью нанотехнологий. На основе секвенированных ДНК можно будет прогнозировать агрономическую ценность, но для сложных признаков вопрос еще открыт. У многих видов уже показано, что между образцами разных сортов, например, кукурузы имеются не только точечные нуклеотидные отличия, но могут быть выявлены значительные структурные перестройки и что часто члены семейств генов, диспергированных повторов одного генома могут полностью отсутствовать у других геномов. Очень большая изменчивость по размеру генома может иметь ряд причин. По одной ДНК, наряду с собственными генами, может содержать ряд их дупликаций, а также разное количество повторяющихся последовательностей. Кроме этого, многие растения целиком или частично являются полиплоидами; это объясняет, например, почему такой большой геном у пшеницы. Но и очень маленький геном *Arabidopsis* содержит по многим генам несколько копий и, по мнению ряда исследователей, является скрытым полиплоидом.

Эволюция у культурных растений структурных генов, которые являются мишенями искусственного отбора, тесно связана со встройками в них транспозирующихся элементов, что показано многими исследователями. Например, район локализации локуса *Wx* является мишенью множественных транспозонных инсерций, причем доля повторяющихся элементов в этом районе составляет только 15%. В этой области длиной в 200-kb наблюдается 75 повторов, которые классифицируются на 46 подсемейств: 21 подсемейство соответствует известным транспозонным элементам или повторам, и 25 подсемейств состоят из впервые идентифицированных транспозонов или новых типов повторов. Этот район не содержал ретротранспозонных элементов с длинными концевыми повторами (LTR), зато в нем обнаружено большое количество миниатюрных инвертированных транспозирующихся элементов (MITE), которые составляли главную группу среди идентифицированных. В этой группе MITE наблюдалась выраженная структурная дивергенция: 12 элементов были новыми членами уже известного суперсемейства MIT; 5 элементов имели новые терминальные структуры и не принадлежали к каким-либо известным семействам транспозонов.

То, что около 10% выявленных повторов, включая вирусоподобные последовательности, не несли характеристик, типичных для транспозонов, позволило авторам этих исследований предположить, что по крайней мере часть повторов распространялась по компактному геному риса по другому механизму, чем тот, который известен для типичных внутригеномных транспозиций [Nagano et al., 2002].

ДНК-технологии с учетом накопления информации о генетико-биохимических процессах, лежащих в основе звеньев общего метаболизма, позволяют контролировать и создавать растения, синтезирующие нужные метаболиты. Успешный перенос соответствующих генов осуществляется в четыре этапа: изоляция желаемого гена; встраивание гена в ДНК растения-реципиента; регенерация фертильного растения и экспрессия перенесенного гена. Этот подход открывает широкие перспективы для изучения регуляции генов высших растений и для генетической инженерии. Блокируя отдельные метаболические пути, можно предотвратить формирование нежелательных веществ, и благодаря трансформации с дополнительными копиями генов для желательных ингредиентов их концентрация может быть увеличена для многих направлений, в том числе и для повышения устойчивости растений к неблагоприятным воздействиям. Это может быть достигнуто благодаря трансформации генами из других видов и образованию в результате совсем новых веществ. Особенно перспективны работы по модификации жирных кислот у масличных растений. Синтез жирных кислот происходит даже у очень отдаленных видов принципиально одинаково; поэтому возможно изменение баланса жирных кислот в желательном направлении у определенного масличного растения путем передачи генов от других растений. Одним из удачных примеров применения генной инженерии был рапс, у которого была получена предельная жирная лавровая кислота, которая в природе никогда не содержится в семенах рапса. Лаврорапс был создан в США, но не имел коммерческого успеха. Другое применение такой подход получил у рапса, у которого одновременно уменьшено содержание нежелательных ингредиентов и увеличено содержание желательных веществ. Например, у рапса с помощью методов генной инженерии было уменьшено содержание нежелательного вещества синапина в семенах и создана возможность формирования нового желаемого ингредиента ресвератрола в семенах.

Способность местных сортов к адаптации

Технология микрочипов является новым, перспективным способом выявления генного разнообразия, важного для способности к адаптации в популяциях на молекулярном уровне, которая все еще недостаточно

испытана в широком масштабе. Уже очевидно после проведения широко распространенных процедур, что местные сорта являются кладезями адаптивной пластичности. В анализе принимались во внимание исследования влияния человека, биотических и абиотических факторов, которые поддерживают генетическое разнообразие и популяционные различия среди традиционных сельскохозяйственных культур. Все растущее число доказательств указывает на то, что местные сорта приспособлены к особым характеристикам окружающей среды и являются резервом разнообразия, связанного с возможностью адаптации к неблагоприятным факторам окружающей среды. Это разнообразие может быть выявлено с использованием, в частности, ДНК-микрочипов. Полученные данные позволяют выявить молекулярно-генетические механизмы адаптации каждой популяции к среде, в которой она эволюционирует; и адаптивная ценность тех или иных генотипов или эпигенотипов может быть совершенно разной в зависимости от особенностей среды воспроизводства. Скорость, с которой разные части генома изменяются в процессе эволюции, различна. В среднем наиболее консервативны последовательности, кодирующие аминокислотные последовательности белков, особенно в участках, формирующих ключевые функциональные домены белков. Следующий по уровню консервативности — порядок генов. Регуляторные элементы обладают значительной изменчивостью и эволюционируют с наибольшей скоростью. За время активного применения ДНК-технологий представления о гене существенно изменились, поскольку были выявлены множественные, разнообразные механизмы регуляции «работы» одного и того же геномного участка, которые, строго говоря, тоже являются компонентами соответствующего гена. Но понятие гена в прежнем классическом смысле осталось, остался основной принцип, заложенный в понятие гена как фрагмента нуклеиновой кислоты, в последовательности нуклеотидов которой закодирована информация о последовательности нуклеотидов в другой нуклеиновой кислоте или аминокислотной последовательности в белке. Эта формулировка по смыслу близка к классическому определению «один ген — один признак».

ДНК-технологии позволяют исследовать и направленно изменять материал наследственности на разных уровнях его организации — геном, хромосомном, геномном, популяционно-генетическом. Именно благодаря развитию ДНК-технологий становится все более очевидным определенное единообразие стабильности и изменчивости материала наследственности как на уровне отдельной нуклеотидной последовательности, так и в совокупности организмов, образующих общий генофонд. Необходимо подчеркнуть, что все методы ДНК-технологий, связанные с созданием новых генных конструкций и новых организмов, основаны на искусственной имитации процессов, реально существующих в живой природе.

Исследователи не придумывают, по сути, ничего нового — они обучаются использованию приемов, многократно реализованных в процессе эволюции живых организмов и лежащих в основе «трех китов» филогенеза — изменчивости, наследственности и отбора. По-видимому, в современной биологии, во всем диапазоне ее областей — от физиологии клетки до механизмов высшей нервной деятельности — не осталось ни одной, в которой бы не нашли своего применения ДНК-технологии, биоинформатика, протеомика, метаболомика. Фактически созданы предпосылки для качественных перемен не только в прикладной биологии и сельском хозяйстве, но и в жизни человечества. Разработка ДНК-технологий во многом определила справедливость прогноза относительно того, что в XXI столетии решающую роль в развитии и существовании мирового сообщества будет играть биология. Ее достижения, наряду с биоинформатикой, позволят вплотную подойти к формированию ноосферы, обеспечивающей удовлетворение возрастающих потребностей человечества при сохранении окружающей среды.

Образование новых сочетаний генов и их частей в природных условиях проходит проверку естественным отбором. Только он может оценить жизненную значимость таких преобразований геномов. Использование в лабораторных условиях основных генетических принципов, лежащих в основе природных перемещений генов, позволило человечеству разработать более эффективные системы передачи генетической информации между организмами и приступить к беспрецедентным по информативности исследованиям генетических явлений на молекулярном уровне.

Социально-экологические аспекты развития генетической инженерии

Рост численности людей на Земле в последние десятилетия принял характер «демографического взрыва», и это представляет собой ключевую проблему глобальной экологии. По мере развития науки и медицины, сельского хозяйства и промышленности человечество шаг за шагом выходит из-под контроля его численности средой обитания, все более преобразуя ее в соответствии со своими потребностями. Следствием этого становится стремительное нарастание загрязнения природной среды, угроза нарушения теплового баланса планеты, катастрофическое снижение биологического разнообразия. Приняв материальное благополучие в качестве главной жизненной цели и ценности и не выработав социокультурных механизмов ненасильственного ограничения своей численности, человечество стремительно разрушает природную среду, вне которой оно жить не в состоянии. К сожалению, до сих пор голод, войны и болезни

остаются основными ограничителями роста численности людей; и если людям не удастся выработать разумные и столь же разнообразные, как традиции и привычки разных народов, методы добровольного ограничения рождаемости, ни одной из глобальных проблем решить будет нельзя.

Потребность в «экологически чистых» продуктах питания, поддержанная ужесточением предельно допустимых норм содержания вредных веществ и совершенствованием контроля качества продовольственных товаров, заставила обратиться к традиционным методам ведения сельского хозяйства. Ясно, однако, что их более низкая продуктивность не может удовлетворить потребности в продовольствии выросшего человечества. Необходимо насыщение традиционных для каждого народа почвосберегающих методов ведения сельского хозяйства достижениями современной науки. Следует признать, что «лобовая» химическая атака провалилась — она привела к снижению естественного плодородия почв и качества продукции. Очевидно, нужно постепенно переходить к методам, сочетающим достижения селекции, физиологии растений и экологии с традиционными технологиями обработки почв.

К их числу относится переход от монокультур к поликультурам, т.е. к выращиванию на одном поле одновременно нескольких видов растений. В таком многовидовом сочетании, частично воспроизводящем естественные сообщества растений, гораздо эффективнее используются ресурсы света, воды, минеральных солей, почва меньше истощается, что позволяет существенно снизить расход минеральных удобрений и опасность их передозировки. Каждая отдельная культура может при этом давать меньший урожай в расчете на площадь, но суммарный урожай всех культур всегда оказывается выше. В опытах по поликультурам уменьшалась (даже без специальных затрат на борьбу с ними) численность насекомых-вредителей, лучше сохранялась структура почвы. Основная сложность в распространении поликультур — отсутствие специальной техники, которая традиционно ориентирована на монокультуры. Экология в этом случае, по видимому, еще раз демонстрирует принцип «все связано со всем». Без самого деятельного участия представителей той самой техники, которую обвиняют во всех современных бедах, невозможно решить основные экологические проблемы, в том числе переход на поликультуры.

В экологии основными объектами изучения оказались экосистемы, принадлежащие к системам высокого уровня сложности. Их описание, анализ изменений, закономерности развития, например сукцессии, до сих пор не могут быть сделаны с математической точностью. Лишь самые общие тенденции, закономерности, практически не отражающие внутреннюю структуру сложных систем, доступны формализации и исследованию на моделях. Особенно сложные системы возникают при объедине-

нии систем большой сложности и образовании между ними достаточно разнообразной структуры связей. Таковы сверхсложные системы взаимодействия экосистем и человеческого хозяйства.

Единственной средой обитания человека служат экосистемы, в конце концов биосфера в целом. Обе системы оказываются в сильной зависимости друг от друга: эволюция одной из них до сих пор идет за счет другой, представляющей собой единственную основу существования первой.

Стабильность существования социально-экономической системы человечества возможна только при стабилизации экосистемной составляющей возникшей суперсистемы. Эта ситуация настоятельно требует не просто панического ограничения всех сторон жизнедеятельности человечества, а выработки надежных механизмов управления взаимодействием хозяйственных и природных систем. Однако сложность суперсистемы «человечество — природа» такова, что практически нет надежды в ближайшее, критическое для нас время создать математический аппарат и систему моделей, которые дали бы возможность надежного прогнозирования и выработки оптимальных решений.

Однако с течением времени становится все более очевидным, что только расширение арсенала генетических маркеров, подробный анализ их изменчивости в различных условиях жизни популяций, выявление однотипных изменений у разных этносов могут позволить подойти к пониманию роли наблюдаемой изменчивости в морфофизиологической пластичности для увеличения эффективности работы. Таким образом, генетике человека не обойтись без решения этих проблем [Жученко, 2007].

Системой называют набор каких-либо объектов, которые взаимодействуют друг с другом по некоторым, не всегда нам известным, правилам. Уровень сложности систем может быть очень разным. Простейшие системы состоят из немногих элементов, простым образом взаимодействующих друг с другом. Система из двух космических тел, связанных взаимным притяжением, два электрических заряда, взаимодействующие по закону Кулона, большинство взаимодействий, изучаемых в курсе физики, относятся к достаточно простым системам. Но уже Солнечная система, в первом приближении состоящая из центральной звезды и девяти планет, связанных друг с другом гравитационными взаимодействиями, представляет собой весьма сложную систему, и расчет, например, движения в ней межпланетного корабля — задача очень большой сложности. Только с использованием мощных вычислительных машин такая задача решается с удовлетворительной точностью.

Экосистемы слишком сложны для современных математических методов и вычислительной техники. Условно их можно отнести к категории сложных систем, отличающихся от простых не только большим числом

разнородных элементов, но и разнообразием структуры и характера связей между ними. Именно число и характер связей определяют не только уровень сложности, но и основные свойства системы. Например, число типов нервных клеток в мозге не так уж велико, оно измеряется даже с учетом разнообразия клеток каждого типа; все огромное богатство возможностей мозга зависит от числа нейронов и многообразия связей между ними. Это система, сложность которой превосходит современные возможности моделирования, если пытаться построить более или менее полную модель. В этом, собственно, и состоит проблема «искусственного интеллекта».

Не менее сложны большие экосистемы, состоящие из миллиардов особей десятков тысяч видов, связанные между собой пищевыми связями, изменениями общей среды, конкуренцией за убежища, свет и другие ресурсы, различными видами совместного использования ресурсов. Даже на первый взгляд не очень сложная система, такая как, например, еловый лес, при ближайшем знакомстве оказывается состоящей из множества видов и имеет сложную структуру изменяющихся во времени связей. Столь же или более сложны большие экономические системы, в которых взаимосвязаны люди, коллективы, промышленные, транспортные, энергетические, сельскохозяйственные компоненты, при разных культурах могущие иметь различный характер внутрисистемных связей.

Взаимодействие экономических систем с экологическими, иными словами этносов со вмещающими их ландшафтами, есть всегда взаимодействие двух сложных систем, составляющих вместе сверхсложную суперсистему. Конечно, термины «простая», «сложная», «сверхсложная» в применении к системам достаточно условны и не означают наличия ясных границ между ними. Применять их можно лишь как описательные характеристики, и используются эти термины только для того, чтобы яснее осознать, что адекватные объекту, т.е. практически полно описывающие его состав и свойства, модели пока могут быть реализованы только для сравнительно простых систем. Отсюда следует, что адекватную модель экосистемы, а тем более социоэкосистемы, в обозримом будущем построить, скорее всего, не удастся.

Рассмотрим некоторые основные свойства сложных систем, имея в виду условность термина «сложная». Один из основных признаков системы, заставляющий рассматривать ее как самостоятельный объект, заключается в том, что система всегда нечто большее, чем сумма составляющих ее элементов. Это объясняется тем, что наиболее важные свойства системы зависят от характера и числа связей между элементами, что и придает системе способность менять свое состояние во времени, иметь достаточно разнообразные реакции на внешние воздействия. Разнообразие связей означает, что есть связи разного «веса» или «силы»; кроме того, в системе возникают обратные связи с разным знаком действия —

положительные и отрицательные. Элементы, или подсистемы, связанные положительной обратной связью, склонны, если их не ограничивают другие связи, взаимно усиливать друг друга, создавая неустойчивость в системе. Например, повышение средней температуры на Земле ведет к таянию полярных и горных льдов и поглощению большего количества поступающей от Солнца энергии. Это вызывает дальнейшее повышение температуры, ускоренное сокращение площади ледников — отражателей лучистой энергии Солнца и т.д. Если бы не многочисленные другие факторы, влияющие на среднюю температуру поверхности планеты, Земля могла бы существовать только либо как «ледяная», отражающая почти все солнечное излучение, либо как раскаленная, наподобие Венеры, безжизненная планета.

Дополнительные связи, ограничивающие эту положительную обратную связь, создаются уровнем углекислого газа в атмосфере, облачностью, деятельностью растений, распределением водных и воздушных течений. Отрицательные обратные связи обеспечивают способность систем к стабилизации состояния. Поэтому численность хищника, отрицательно воздействуя на численность жертвы, стабилизирует ее и, значит, самое себя, хотя связь жертва — хищник имеет положительный знак: увеличение численности жертвы позволяет хищнику также увеличить численность. Сочетание положительных и отрицательных обратных связей в ряде случаев создает в системах колебательные режимы (знаменитые волны жизни С.С. Четверикова).

Качество элементов, разнообразие их характеристик, так же как разнообразие в системе связей между ними, создает многие дополнительные свойства сложных систем. С этим связана еще одна сторона систем — степень их централизованности или, наоборот, дискретности. Пример сильно централизованной системы — Солнечная система: сосредоточение основной части ее массы в центральном светиле, Солнце, определяет подчиненное, но очень устойчивое положение остальных элементов, планет. Высокой степенью дискретности обладают, например, экосистемы; их устойчивость к внешним воздействиям тем выше, чем больше число составляющих их видов, которые более или менее равноправны как элементы системы и могут до некоторых пределов заменять друг друга и поддерживать состояние экосистемы.

Еще одно важное свойство сложных систем — их способность изменяться, эволюционировать во времени в соответствии с условиями существования и под действием внутренних законов. Например, вид эволюционирует как система, причем система достаточно сложная, многоуровневая: ее элементами являются и отдельные особи, и популяции, и экологические типы, и многие другие составляющие, вплоть до подвидов [Глазко, Чешко, 2007].

Известно, что вопросы о наличии взаимосвязей и их механизмов между изменчивостью количественных и простых, менделирующих качественных признаков являются центральными со времен оформления генетики как науки и до сих пор. Одними из главных причин затруднений, возникающих в перечисленных направлениях исследований, являются недостаточное количество привлекаемых к решению этих задач генетических маркеров, ограниченность информации об их непосредственной функции в системах целого организма, а также малое число используемых генетических маркеров, позволяющих сравнивать у разных этносов изменчивость гомологичных генов. Полиморфизм ДНК может быть тестирован различными способами, включая прямое определение нуклеотидной последовательности ДНК конкретного человека. На практике, однако, при анализе полиморфизма структурных генов чаще всего используют обработку ДНК рестрицирующими эндонуклеазами с последующим электрофоретическим разделением полученной смеси и определением длин рестриционных фрагментов. Рестрицирующие эндонуклеазы имеют строгую субстратную специфичность — сайты расщепления, поэтому генетические различия в нуклеотидной последовательности структурного гена между индивидуумами (т.е. полиморфизм на уровне ДНК) приводят к отличиям в распределении сайтов рестрикции вдоль соответствующих молекул ДНК, а следовательно, к получению смесей продуктов рестрикции, в которой длина гомологичных фрагментов будет различаться. Таким образом, полиморфизм ДНК будет тестироваться как полиморфизм длин рестриционных фрагментов (ПДРФ).

Знание основных свойств сложных систем позволяет достаточно уверенно выделять в них наиболее важные элементы и связи, существенные переменные, определяющие главные тенденции изменений сложных систем под разными воздействиями. Конечно, для того чтобы выделить действительно существенные переменные, нужно достаточно хорошо знать структуру связей и элементы системы. Часто применяемый при этом прием — разделение сложной системы на более простые подсистемы, иногда нескольких уровней. Последовательно исследуя такие подсистемы, удается в качестве элементов сложной системы рассматривать обозримое количество обобщенных данных. Именно таким путем создавались и создаются глобальные модели.

Однако прогнозы состояния сложных систем, таких как суперсистема «биосфера — человечество», нужны прежде всего для практических целей. Мало с помощью моделей выбрать оптимальный сценарий будущего развития. Необходимо разрабатывать программы управления такими компонентами суперсистемы, как тип экономики, численность людей в целом и по регионам, затраты на очистку среды, здравоохранение, охрану и восстановление природных экосистем и множество других.

Ясно, что глобальные модели могут дать для таких программ только ориентировочные показатели, достижение которых желательно. Такие программы в принципе не могут быть четкими планами действий, поэтому в процессе их реализации необходим постоянный контроль за результатами тех или иных действий, их своевременная корректировка.

В последнее время становится очевидным, что жизнь каждого человека протекает в системах, слишком сложных для того, чтобы можно было надеяться на полную предсказуемость благополучия каждого из нас. Тот или иной риск для здоровья, жизни, благополучия каждого человека есть всегда. Так, любой из нас может стать случайной жертвой дорожного движения, железнодорожной или авиакатастрофы, аварии на промышленном предприятии, инфекционного или иного заболевания и умереть раньше генетически предопределенного срока. В большинстве технических систем риск опасной для жизни или здоровья людей аварии может быть определен и заложен в конструкцию и технологию, и хотя он никогда не может быть нулевым, вероятность аварии по техническим причинам может быть доведена до приемлемого уровня. Приемлемым можно, по видимому, считать уровень биологического риска, т.е. вероятность родиться с генетическим нарушением при фоновом уровне мутагенных факторов в природной среде, получить системное заболевание сердечно-сосудистой или иной системы организма при оптимальном образе жизни, погибнуть от молнии, землетрясения или иного экстремального природного фактора.

Вероятность преждевременной гибели от независимой от человека, случайной причины оценивается приблизительно величиной 10^{-6} . Такой уровень риска при проектировании технических систем считается приемлемым. Вместе с тем, если, например, очень надежный автомобиль, риск опасной поломки которого доведен до минимального уровня и составляет даже 10^{-7} , движется по дороге с множеством ям, крутых закрытых поворотов и других опасных участков, да к тому же плохо оборудованной дорожными знаками, вероятность аварии уже почти не зависит от надежности самого автомобиля, а определяется наименее надежным элементом системы движения, в данном случае — качеством дороги.

Очевидно, что вероятность аварии по техническим причинам для любого технического устройства, машины — величина переменная. По мере эксплуатации вероятность аварии возрастает из-за износа деталей. Если риск аварии нового сооружения составляет 10^{-6} , это не означает, что она произойдет через миллион лет. За время эксплуатации уровень риска возрастает и через некоторое время достигает единицы. Поэтому срок эксплуатации любой технической системы должен устанавливаться не на время вероятного сохранения работоспособности, а на время, в течение которого риск уменьшается до допустимого предела 10^{-4} .

Вероятность крупной экологической катастрофы может быть оценена в том случае, когда она может быть связана с аварией крупной технической системы, способной оказать существенное влияние на состояние природной среды на значительной территории. Например, если риск аварии на атомной электростанции составляет 10^{-5} , это означает, что в любой год из гарантийного срока ее эксплуатации авария может произойти с такой вероятностью. Понятно, что подобный чернобыльскому выброс радиоактивных загрязнений, разлив нефти при аварии крупного нефтепровода, подобная произошедшей в Бхопале авария на крупном химическом производстве и множество рисков в сфере техники более или менее управляемы, и вопрос заключается преимущественно в экономической и социальной приемлемости определенного уровня риска, которого должны добиваться создатели каждой технической системы.

Ясно, что чем больше на некоторой территории опасных производств, тем выше вероятность того, что произойдет экологическая катастрофа или более или менее существенное нарушение состояния природной среды антропогенного (техногенного) происхождения. До некоторого уровня сложности структуры территориального размещения технических систем управление риском возникновения экологического бедствия того или иного уровня представляется осуществимым, поскольку здесь мы имеем дело с определенным риском, поддающимся количественной оценке и более или менее управляемым.

Иное дело — сверхсложные социоприродные системы, количество элементов которых и характер связей между ними не поддаются сколь-нибудь надежной оценке и не могут быть смоделированы. В этой ситуации количественная оценка риска невозможна, он становится неопределенным. К сожалению, отсутствие оценки подчас воспринимается требующими точности планирующими и разрешающими органами как свидетельство отсутствия реальной опасности негативных последствий реализации конкретного проекта, и он осуществляется.

Однако невозможность количественной оценки риска вовсе не означает его отсутствия. Тяжелые последствия нежелания и неумения учета неопределенных рисков подчас многократно превышают доход или социальный эффект реализации крупных проектов. Так было с проектом орошения рисовых полей водами Амударьи и Сырдарьи, что привело к ускорению падения уровня Арала и развитию в Приаралье экологической катастрофы; до сих пор никто не смог подсчитать соотношение доходов от дополнительно полученного риса и хлопка и потерь от исчезновения рыболовства на Арале, разрушения инфраструктуры поселений в Каракалпакии и массового ухудшения здоровья населения от разноса ветрами солей обсыхающих отмелей Аральского моря на многие сотни километров вокруг него. На ветер выброшенными оказались средства,

вложенные в сооружение дамбы, отделившей залив Кара-Богаз-Гол от Каспия, падение уровня в котором сменилось подъемом в вековом цикле естественных колебаний уровней Каспия и Арала [Розанов, 2001].

Похоже, что многие из яростных оппонентов сельскохозяйственной биотехнологии движимы скорее ненавистью к набирающей силу глобализации, нежели реальной обеспокоенностью безопасностью генетически модифицированных организмов (ГМО). Однако страх, порождаемый ими в общественном мнении по отношению к продуктам биотехнологии, в значительной мере обусловлен неспособностью наших учебных заведений привить учащимся хотя бы элементарные знания по сельскому хозяйству. Эти пороки системы образования ведут к чудовищным результатам: подавляющее большинство людей, даже считающихся весьма образованными, оказываясь абсолютно невежественными в той области знаний, которая служит основой их повседневной жизни сегодня и, что еще важнее, — их выживания в будущем.

Необходимо без промедления начать борьбу с этим невежеством, особенно среди благополучного городского населения сравнительно богатых стран, в частности сделав обязательным для студентов всех специальностей изучение основ биологии [<http://www.ecolife.ru/jornal/econ/2001-4-1.shtml>].

Геномная селекция

Возможность секвенировать (определять последовательность) целых геномов привела к мысли о том, что связь между последовательностью ДНК и проявлением признаков не может быть найдена статистическими методами. Мир вступает в новую, «золотую» эру селекции растений. Такая «геномная селекция» является дальнейшим развитием ассоциативного картирования. Вместе с тем остается еще немало проблем, требующих изучения. К их числу относится выяснение механизмов регуляции и координации процессов жизнедеятельности в онтогенезе; на начальных стадиях находятся, в частности, исследования по расшифровке механизмов регуляции экспрессии генов, с которыми связаны процессы роста и деления клеток, их дифференцировки, а при патологии — опухолевая трансформация.

Если во время первоначальной идеи ассоциативного картирования было важно сравнивать различные аллели генов кандидатов, то при геномной селекции нужно анализировать сначала по возможности как можно большее количество мононуклеотидных полиморфизмов (Single Nucleotide Polymorphisms — SNP), а в качестве конечной цели — все различия в геномных последовательностях с различиями в желательной продуктивности культурных растений и животных сельскохозяйственных видов.

Методами классической генетики могут изучаться только фенотипические различия. Классический генетический анализ возможен только с генами, для которых существуют различные аллели, которые фенотипически различаются. Гены, у которых аллели не показывают видимой изменчивости, не могут быть проанализированы методами классической генетики, их изучают другими методами. В молекулярной генетике, напротив, все аллели могут идентифицироваться на уровне ДНК. Но в последовательности ДНК не могут быть прямо обнаружены функции гена. В геномном анализе это проводится обсуждаемыми методами транскриптомики, протеомики и метаболомики. Функция продукта структурного гена более узнаваема, чем из последовательности ДНК, но удаляется всё дальше и дальше от непосредственно генетической информации. Протеины и метаболиты являются частью фенотипа и поэтому подвержены влиянию внешней среды. При геномном анализе на таком уровне в принципе должны решаться те же проблемы, как и при классической генетике, а именно: имеет ли место влияние среды и какова ошибка опыта, которые необходимо уменьшать благодаря специальным опытам и повторениям.

Зная строение аппарата наследственности у разных организмов, удастся манипулировать не только нуклеиновыми кислотами, но и целыми хромосомами (хромосомная ДНК-технология) и клетками (геномная ДНК-технология). Развитие ДНК-технологий с использованием методов рекомбинантных ДНК изменило многие представления. Сегодня совершенно ясно, что ген не всегда колинеарен РНК или белку, которые закодированы в последовательности его нуклеотидов, — одна и та же последовательность нуклеотидов ДНК может кодировать разные полипептидные цепи, а нестабильность генов может быть генетически запрограммированной. Не менее удивительными являются и механизмы редактирования кодирующего потенциала РНК на посттранскрипционном уровне.

Геномная селекция основана на статистическом подходе, при котором не требуются знания об участии гена в совокупности метаболических реакций (метаболоме). QTL, а также отдельный ген, выявляются благодаря оценке QTN (*quantitative trait nucleotids* — главные нуклеотиды количественного признака), которая основана на расчете вклада генотипов по ним в изменчивость количественного признака. Основной идеей при этом является, что изменчивость количественных признаков проявляется благодаря своему очень малому вкладу нуклеотидных замен и несчетному количеству генов, в ней участвующих, и на этом представлении основана общая классическая теория селекции.

Обеспокоенность потенциальной опасностью ГМО базируется преимущественно на представлениях о том, что введение «чужеродных» ДНК в основные сорта продовольственных культур «противоестественно» и, стало быть, сопровождается неустранимым риском для здоровья.

Но, поскольку все живые организмы, включая продовольственные растения, животных, микробов и т.д., содержат ДНК, как можно считать рекомбинантные ДНК «противоестественными»? Даже определить понятие «чужеродный ген» — и то проблематично, поскольку множество генов оказываются общими для самых разных организмов. Конечно, необходимо указывать на наличие ГМО в продуктах, особенно в тех случаях, когда их свойства заметно отличаются от традиционных (скажем, по пищевой ценности) или в них присутствуют явные аллергены или токсины. Но в чем смысл такой идентификации в тех случаях, когда качества ГМО и обычных продуктов не отличаются? Нам кажется, это серьезно дискредитирует основную цель любой маркировки — дать потребителю необходимую информацию о питательных или влияющих на здоровье качествах продукта, с тем чтобы он мог сделать «осознанный» выбор [<http://www.ecolife.ru/journal/econ/2001-4-1.shtml>].

Одна из наиболее важных и интенсивно развивающихся областей генной инженерии растений — создание эффективных систем векторов для переноса генов. Методы трансформации растений основаны на использовании ДНК-векторов почвенной бактерии *Agrobacterium tumefaciens* и вируса мозаики цветной капусты *Cauliflower mosaic virus*. Во многих штаммах *Agrobacterium* находятся мегаплазмиды *Ti*, *Ri* (200–300 т.п.н., tumor inducing, root inducing), контролирующие в зараженном растении формирование в местах поражения опухолевых наростов корончатых галлов у основания корневой шейки или «бородах» корней. Связи бактерий с двудольными растениями способствуют полисахариды растительной клеточной стенки. Производные фенола активируют опероны района *vir* в плазмиде *Ti*, совместное действие которых вызывает перенос в растительную клетку плазмидной последовательности ДНК, названной районом T (transfer). Она находится между 25-нуклеотидными пограничными последовательностями, в зараженную растительную клетку переносится в одонитевой форме; перенос начинается от правой пограничной последовательности. Последовательность T-ДНК входит в ядро зараженной клетки и интегрирует с ДНК хромосом в случайных местах. Обнаружено, что в эту же самую растительную клетку может проникать более чем одна молекула T-ДНК, что делает возможной одновременную трансформацию клетки несколькими разными генами.

При совместной трансфекции разные конструкции могут интегрироваться в разные позиции генома, часто в разных хромосомах. Гены T-района окружены регуляторными последовательностями, обеспечивающими их экспрессию в растительных тканях. Они кодируют фитогормоны (цитокнины, ауксины) и опины (октопины и нопалины). Первые регулируют опухолевый рост зараженных клеток, вторые — накопление производных аминокислот и сахаров. Пермеаза, кодируемая районом T, делает возмож-

ной диффузию опинов в окружающую почву. Опины — хемоаттрактанты и специфичные источники углерода для *A. tumefaciens*. После адсорбции бактерии на растении опины индуцируют оперон *Ti*, имеющий решающее значение для конъюгации плазмиды *Ti*. Встроенная в геном растения ДНК, фланкированная T-районами, митотически и мейотически стабильна и наследуется согласно менделевским законам. На уровень экспрессии клонированного гена влияет место его встройки в хромосому хозяина. Конфигурация T-районов после интеграции с геномом хозяина зависит от штамма бактерии и типа вектора.

Что касается потенциального влияния на окружающую среду, возражения против трансгенных сортов, содержащих ген *Bacillus thuringiensis* (*Bt*), являются особенно странными. Не только в научной, но и в популярной литературе не раз описаны свойства энтеротоксинов, полученных из этой бактерии, — натурального инсектицида, достаточно давно (более 100 лет) используемого в сельском хозяйстве. Однако активисты борьбы с ГМО неустанно плохо говорят о введении гена *Bt* в любые растения, даже не взирая на то, что это позволяет резко сократить его количество при применении.

Отчасти возражения сводятся к опасениям, что широкое распространение растений, устойчивых к насекомым-вредителям благодаря введению в их геном гена *Bt*, вызовет мутацию насекомых, которая в итоге сделает применение подобных биологических инсектицидов неэффективным. Но эта цепочка рассуждений справедлива и в отношении химических инсектицидов, в данном случае речь, в общем-то, идет о количественных различиях.

Конечно, нельзя полностью исключить и ошибки при сертификации ГМО. Недавний пример такого рода дает нам «ограниченное одобрение» Агентством по охране окружающей среды для распространения в США гибрида кукурузы (печально известного *Starlink*), который был разрешен только в качестве корма для животных из-за его возможного аллергического действия на людей. Агентство гарантировало безопасность его использования в расчете на то, что в цивилизованном обществе отсутствуют каналы, которые на рынке перемешали бы корм для животных с пищей для человека. Однако *Starlink* оказался в некоторых пищевых изделиях и блюдах из кукурузы, что серьезно подорвало доверие потребителей к ГМ-продуктам. Несмотря на связанный с этим ажиотаж, нет абсолютно никаких оснований считать, что кукуруза стала вдруг небезопасной для человека. В данном случае страх перед возможными аллергическими реакциями вызван недобросовестностью отдельных участников рынка [<http://www.ecolife.ru/jornal/econ/2001-4-1.shtml>].

Международный обмен зародышевой плазмой был всегда. Но усилился он после заболевания пшеницы и кукурузы в Северной Америке.

Это была настоящая эпидемия, заболевание затронуло все коммерческие сорта. Извлекая уроки из этого печального события, министерства сельского хозяйства США и Канады обратились ко всем исследовательским организациям на континенте с предложением об обмене семенами и их тестировании одновременно во многих местах, что предлагал еще Н.И. Вавилов. Первыми на это предложение откликнулись Кооперативная сельскохозяйственная программа правительства Мексики и Фонда Рокфеллера, а также ряд национальных исследовательских центров в Южной Америке. Идентификация новых сортов, устойчивых к упомянутому заболеванию, продолжается по сей день. Неудивительно, что это заболевание не отмечалось ни на одном из полей в Америке вот уже полвека.

Международное сотрудничество по проверке зародышевой плазмы и информационному обеспечению в этой области позволило уничтожить психологические барьеры, которые прежде разделяли селекционеров разных стран, и надеяться на качественно новый этап в использовании всего генетического многообразия. Политики стали считаться с тем обстоятельством, что отдельные селекционеры ныне могут неограниченно пользоваться любой информацией, полученной в международных питомниках, для выведения новых сортов или коммерческого применения существующих. Это ускорило выведение новых высокоурожайных и устойчивых к заболеваниям и вредителям сортов [<http://www.ecolife.ru/jornal/econ/2001-4-1.shtml>].

Генетики перешли от генетики скрещивания к парасексуальной генетике — термин, определяющий исследования, основанные на введении генетического материала в клетку или в целый организм неполовым путем и создании условий для его последующей передачи по наследству. Первые исследования по генетической трансформации были начаты с попыток трансформировать целый животный организм с помощью парентерального введения донорской ДНК. Б.Л. Астауров начал организацию работ по генетической трансформации сразу же после появления работ Бенуа с соавторами. Однако в отличие от французских исследователей он предложил провести опыт по генетической трансформации на тутовом шелкопряде — значительно лучше изученном в генетическом отношении объекте. Опыты проводили в течение 1958 и 1959 гг. Были использованы две реципиентные линии шелкопряда: первая — с мутациями *w2* — белая грена, белые глаза; вторая — с мутацией *ch* — шоколадная окраска личинки I возраста. ДНК выделяли из гусениц дикого типа (аспидно-серая грена, черные глаза, черные личинки I возраста). Инъекции ДНК личинкам IV и V возрастов производились в полость тела в область брюшинного сегмента, где находятся половые органы. Аналогичные эксперименты проведены под руководством С.М. Гершензона, и результаты тоже были отрицательными. К началу 60-х гг. XX в. стало ясным, что вызвать

трансформацию посредством просто введения ДНК в развивающийся организм позвоночных и насекомых практически невозможно. Введенная таким способом меченая высокополимерная ДНК при попадании в животный организм практически не проникает в соматические и половые клетки. Как показали многие исследователи, только одно ядро из 10^4 со-держало метку, причем чаще — в составе одиночных нуклеотидов. Включение же экзогенной полимерной ДНК в ядро наблюдалось с частотой $2,5 \cdot 10^{-5}$. Понятно, что при такой малой частоте проникновения экзогенной ДНК в клетки организма трудно ожидать направленных наследственных изменений при парентеральном способе введения препаратов ДНК.

Оппоненты биотехнологии сегодня пытаются убедить страны «третьего мира» в том, что их традиционные сорта могут быть украдены «биопиратами» из частных биотехнологических компаний, и призывают принять национальные законы, препятствующие обмену семенным материалом. Эти попытки бесперспективны. За последние 500 лет концепция «местных генетических кладов» заметно потускнела. Арахис, бобовые, картофель, кокос, кукуруза и перец (перечень можно было бы продолжать еще долго) первоначально произрастали лишь в Америке, но благополучно завоевали Азию, Африку и Европу, отнюдь не вытеснив местные культуры, а гармонично дополнив их и обогатив биоразнообразие этих регионов. В то же время груша, овес, пшеница, рис, рожь и ячмень распространились в другие части света из Азии, а кофе, просо и сорго — из Африки. Так что в историческом аспекте все страны оказывались в той или иной степени донорами и реципиентами.

Группа немецких и бразильских ученых сообщила о создании методом генной инженерии нового вида томатов, пыльца которых не способна передавать модифицированные гены соседним растениям. Дело в том, что, хотя многие ученые полагают, что генетически модифицированные растения могут помочь в борьбе с голодом и болезнями, все же существует опасность контаминации соседних культур. Это означает, что в будущем новый вид томатов может быть использован как своего рода фабрика по производству лекарств и вакцин в съедобной форме. [<http://www.ecolife.ru/jornal/econ/2001-4-1.shtml>].

По оценкам различных международных организаций, до сих пор попытки достичь приближения к глобальному устойчивому развитию не увенчались успехом, хотя необходимость перехода к устойчивому развитию агросистем очевидной стала достаточно давно, поскольку рост производительности продовольствия сопровождался увеличенным использованием удобрений, поливной воды, сельскохозяйственных машин, пестицидов и земельных площадей. В то же время представления о том, что такое устойчивое развитие агросистем, до сих пор остается недостаточно разработанным. В отдельных работах в качестве ключевых прин-

ципов выработки подходов к устойчивому развитию агросистем выделяют следующие: 1) объединение биологических и экологических пищевых циклов, фиксации азота, регенерации почвы, аллопатии, конкуренции хищников и паразитов в процессах производства пищевых продуктов; 2) минимизация использования невозобновляемых ресурсов, наносящих ущерб окружающей среде или здоровью фермеров и потребителей; 3) использование высокоэффективных знаний и увеличение информированности фермеров, повышение их уверенности в своих силах и замена дорогостоящих ресурсов человеческим капиталом и 4) увеличение производительного использования коллективного сотрудничества для решения распространенных проблем сельскохозяйственного и природного ресурсов, защиты от вредителей, организации ирригации, сохранения лесов и контроля финансовых потоков. Эти принципы, очевидно, не означают исключения любых технологии или методов по этим причинам. Если технология работает для улучшения производительности фермеров и не приводит к вредным последствиям для окружающей среды, тогда она будет способствовать устойчивости. Эти принципы многофункциональны, и их реализация может быть разной в зависимости от экологических и экономических систем. Главное, что они подразумевают баланс между диапазоном сельскохозяйственных и экологических товаров и услуг.

Одним из примеров поисков молекулярных методов управления проявлением генов является использование антисмысловой РНК. Пионерские работы в этой области выполнил в начале 70-х гг. XX в. Дмитрий Кнорре. Метод основан на том, что, зная структуру гена-мишени, можно синтезировать «антисмысловую» ДНК или РНК — фрагмент, полностью комплементарный смысловой (т.е. кодирующей белок) нити гена. Такой фрагмент «прилипнет» точно «по адресу» нужного гена-мишени, блокируя его транскрипцию. Если этот фрагмент несет на себе пришитую химическую группу, разрушающую цепь ДНК в месте контакта или модифицирующую ее, ген будет инактивирован или модифицирован, что можно использовать, в частности, в медицине. Такие антисмысловые ДНК или РНК, соединенные с маркерами (ДНК- или РНК-зонды), используют также для обнаружения каких-либо генов в организмах. Известны эксперименты на системах животного происхождения с использованием антисмысловой РНК: из некодирующего фрагмента ДНК соответствующего гена транскрибируется РНК, комплементарная мРНК этого гена, и если формируется дуплекс РНК-РНК, тогда мРНК разрушается специальными ферментами. Антисмысловая РНК, инъецированная в ооциты *Xenopus*, или эмбрионы *Drosophila*, или транскрибированная гетерологическим промотором, может предотвратить трансляцию своей комплементарной мРНК.

Опыты с электропорированными протопластами моркови показывают, что подобные результаты можно получить и в растительных сис-

темах. Большинство данных указывает на то, что область, критическая для блокирования трансляции, находится непосредственно около начального кодона AUG. Применение этого подхода требует стабильной интеграции антисмыслового гена в геном растения-хозяина. Введение антисмыслового гена в один иницируемый промоторный комплекс позволил бы осуществить неограниченное экспрессирование антисмысловой РНК. Экспрессия антисмыслового гена, интегрированного в растительный геном, позволит контролировать фенотип. Технология антисмысловых РНК применяется в генной инженерии растений. Например, можно предотвращать экспрессию нежелательных белков у некоторых растений введением антисмысловых генов в растения под контролем сильного промотора. Это приводит к накоплению антисмысловой РНК и предотвращает трансляцию нежелательных продуктов, например вирусных продуктов.

Трансгенные растения использованы в исследованиях эффекта, оказываемого антисмысловой РНК на экспрессию гена халконсинтетазы (CHS). Так как CHS — основной фермент во флавоноидном биосинтезе, то инактивирование этих генов антисмысловой РНК приводит к изменению пигментации цветков у петунии и табака. У трансгенных растений томатов экспрессия антисмысловой РНК полигалактозы приводит к понижению активности ферментов в созревающих плодах, что значительно увеличивает возможность их транспортировки и хранения. Существует много доводов, позволяющих предполагать, что этот подход может оказаться весьма эффективным в защите от вирусных болезней растений.

Необходимы новые подходы, объединяющие биологические и экологические процессы в производстве пищевых продуктов, минимизирующие использование тех невозобновляемых ресурсов, которые наносят ущерб окружающей среде или здоровью фермеров, заменяющие человеческим капиталом дорогостоящие внешние ресурсы, увеличивающие эффективность использования коллективных мощностей людей в их сотрудничестве, решении общих проблем оптимизации использования сельскохозяйственных и природных ресурсов, особенно для защиты от вредителей, использования ирригации, сохранения лесов и управления финансовыми потоками. Эти принципы помогают создавать новый капитал сельскохозяйственной системы: природный, социальный, человеческий, физический и финансовый. Улучшение природного капитала является центральной целью, наибольшие дивиденды могут быть получены из использования лучших генотипов зерновых культур и животных и экологических условий, при которых возможно их выращивание. Устойчивость агро-систем предполагает необходимость сосредоточиться на усовершенствовании генетических ресурсов сельскохозяйственных видов с использованием всего спектра современных биологических подходов при увеличении понимания выгод поиска новых управленческих решений, модернизации

приемов контроля экологических и сельскохозяйственных систем. Развитие экологических подходов к управлению агроэкосистем, контролю энергетических потоков может привести к модернизации сельского хозяйства в макрорландшафтных масштабах.

К настоящему времени выяснены функции многих простых и сложных биомолекул. Вместе с тем остается еще немало проблем, требующих изучения. Так, например, протеинкиназы являются одним из тех мощных инструментов, с помощью которых клетка осуществляет регуляцию трансляции, модифицируя белковые факторы, особенно факторы трансляции. Поэтому понятно, что нарушение регуляции их экспрессии или функции чревато тяжелыми последствиями для клетки. Весьма ограничены сведения о структурно-функциональной организации хромосомы, ядра, цитоплазмы, клеточного движения, механизмах клеточной секреции. Например, у разных видов бактерий обнаруживаются выраженные отличия в амплифицированности различных генов. Видимо, значительное увеличение копияности генов связано с особенностями внешней среды, экологией вида. Анализ паралогов является важным аспектом изучения организации геномов, эволюции генов путем дупликации, которая обеспечивает видам адаптацию к меняющимся условиям окружающей среды.

Применение методов генной инженерии не уменьшает значения методов селекционной практики. Наоборот, они способствуют ускорению и улучшению селекционного процесса путем расширения спектра зародышевой плазмы и помощи в экспрессивной оценке и отборе полезных комбинаций, которые в конечном счете приводят к получению новых сортов с более высокими биологическими и хозяйственно-ценными признаками.

ДНК-технологии имеют еще один важный практический аспект, связанный с развитием метагеномики. Многие почвенные микроорганизмы обладают способностью стимулировать рост растений. Бактерии можно использовать вместо химических удобрений. Они могут оказывать свое влияние непосредственно, поставляя растениям фиксированный азот, хелатированное железо, фитогормоны или облегчая поглощение ими фосфора. Но влияние может быть и опосредованным через подавление роста фитопатогенных микроорганизмов. Из всех микроорганизмов, стимулирующих рост растений, детально изучены члены семейства *Rhizobium* и *Bradyrhizobium*, вступающие в сложные облигатные симбиотические отношения со строго определенными растениями. В связи с этим важны исследования молекулярных основ фиксации азота. Детально охарактеризована нитрогеназа — азотфиксирующий фермент. Молекулярно-генетические исследования показали, что фиксация азота бактериями — это сложный процесс, в котором участвует семь координированно регулируемых оперонов, кодирующих в общей сложности более 20 разных белков.

Это уникальная задача — создать с помощью методов ДНК-технологий растения, которые могли бы сами усваивать азот. Известно, что, вступая в симбиотические отношения с растениями, штаммы *Rhizobium* стимулируют образование на их корнях клубеньков, где и происходит размножение бактерий и фиксация азота.

Если с помощью методов генной инженерии удастся создать бактерии, способствующие образованию большего количества клубеньков, конкурентоспособность инокулирующих штаммов *Rhizobium* в борьбе за место на корнях растений-симбионтов повысится по сравнению со штаммами дикого типа. Другое направление в стимуляции роста растений бактериями состоит в защите растений от повреждений, вызываемых фитопатогенными грибами или бактериями. Такая защита осуществляется при участии специфических соединений, синтезируемых бактериями, которые стимулируют рост растений: сидерофоров, антибиотиков, других малых молекул и различных ферментов. Некоторые другие продукты синтеза, в частности фитогормоны и АЦК — дезаминаза, влияют на рост растений непосредственно.

Сегодня все реальнее выглядят перспективы сельскохозяйственной биотехнологии предоставить такие растения, которые будут использоваться как лекарства или вакцины (например, против распространенных болезней, подобных гепатиту В или диарее). Мы будем просто выращивать такие растения и есть их плоды, чтобы излечиться от многих болезней или предотвратить их. Трудно даже представить, какое значение это может иметь для бедных стран, где обычные фармацевтические средства все еще в диковинку, а традиционные программы вакцинации по линии ВОЗ оказываются слишком дорогими и трудно выполнимыми [<http://www.ecolife.ru/jornal/econ/2001-4-1.shtml>].

Работы по ДНК-технологии позволяют понять особенности конкретного гена и его функционирование в живом организме. Подобный подход успешно применен как к известным генам, которые выделяются целенаправленно, так и к не идентифицированным ранее последовательностям нуклеотидов, функциональную значимость которых определяют лишь после выделения их в чистом виде.

С помощью методов ДНК-технологий получают данные о структуре и функционировании генов разнообразных организмов, что дает возможность перейти на качественно новый уровень генетических исследований; в частности, удалось решить ряд проблем: перенос гена в новое для него генетическое окружение с дальнейшей его экспрессией, что ведет к изменению свойств организма, в геном которого вводится ген (например, создание продуцентов биологически активных веществ или трансгенных животных); генотерапия наследственных и приобретенных заболеваний путем искусственного замещения мутантных аллелей; конструирование

новых генов путем объединения *in vitro* как известных, так и новых, искусственно синтезированных последовательностей нуклеотидов; применение изолированных генов в составе генно-инженерных конструкций для получения биологически активных веществ белковой природы и улучшения пищевых продуктов.

Разработаны многочисленные методы, позволяющие выделять определенные последовательности нуклеотидов из сложной смеси фрагментов хромосомной ДНК, а также осуществлять обмен между строго определенными фрагментами генов и другими последовательностями нуклеиновых кислот. Во всех этих реакциях, как правило, используют высокоочищенные препараты нуклеиновых кислот и ферментов нуклеинового обмена. Большинство ферментов, применяемых для молекулярного клонирования нуклеиновых кислот, участвует в метаболизме нуклеиновых кислот *in vivo*. Это означает, что ДНК-технология в своем развитии опирается на достижения исследований ферментных систем метаболизма нуклеиновых кислот и существует благодаря возможности получения таких ферментов в высокоочищенном состоянии. В то же время сам процесс клонирования и исследования клонированных последовательностей нуклеотидов сводится в основном к последовательному проведению *in vitro* определенных ферментативных реакций с использованием очищенных ферментов и их субстратов — нуклеиновых кислот. В различных лабораториях мира развернуты работы по получению трансгенных животных, в геном которых были интегрированы чужеродные генные конструкции. Изучены частота интеграции чужеродных генов, характер их экспрессии, влияние локализации чужеродного гена на интенсивность экспрессии и развитие организма, а также числа интегрированных генов.

Для получения трансгенных животных в настоящее время применяют следующие основные методы.

Введение в клетки эмбрионов на ранних стадиях их развития рекомбинантных генов в составе векторных молекул (прямая микроинъекция нескольких сотен копий линейаризованных молекул рекомбинантной ДНК в пронуклеусы оплодотворенных яйцеклеток). Для этого мышей-самок скрещивают с самцами и через 12 ч после спаривания вскрывают их яйцеводы, выделяют оплодотворенные одноклеточные яйцеклетки и помещают их в культуральную жидкость. В пронуклеусы оплодотворенных яиц с помощью микроманипулятора вводят очищенную ДНК, и прооперированные яйцеклетки подсаживают псевдобеременным реципиентным самкам. Некоторая часть жизнеспособных трансплантированных оплодотворенных яйцеклеток проходит в организме мышей полный пренатальный цикл развития, после чего развившиеся детеныши рождаются естественным путем или с использованием кесарева сечения. Трансгенных животных идентифицируют с соответствующими зондами, далее их скре-

щивают друг с другом для получения чистых линий и анализируют экспрессию трансгенов. Приблизительно у 70% трансгенных мышей экзогенная рекомбинантная ДНК имеется во всех соматических клетках и клетках зародышевого пути. Это свидетельствует о том, что у них интеграция рекомбинантной ДНК в хромосомы прошла до прохождения первого цикла их репликации в оплодотворенной яйцеклетке. У остальных 30% трансгены содержат лишь часть соматических клеток, т.е. они являются мозаиками, причем у некоторых трансгенных животных клетки зародышевого пути становятся дефектными, а сами животные — бесплодными. Как правило, трансгены стабильно передаются из поколения в поколение без существенных изменений. Однако в ряде случаев отмечены их перестройки, образование делеций и амплификация. Кроме непосредственной микроинъекции в пронуклеусы, используют введение рекомбинантной ДНК в цитоплазму или ядра двухклеточных эмбрионов, а также в полость бластоцеля зародышей. Прямая микроинъекция рекомбинантных генов в клетки высокоэффективна, однако методически сложна и требует дорогостоящего оборудования.

Метаболомика. Для создания организмов с новыми свойствами существует несколько путей. Один из них — объединение разных метаболических путей в одном организме с помощью конъюгации. На уровне метаболитов можно изучить продукты обмена веществ клетки или ткани. В отличие от классической биохимии целенаправленно изучают не только полностью определенные пути обмена веществ, но хроматографическими или спектроскопическими методами учитывают по возможности все вещества, а также другие химические структуры или физиологические функции, пока еще неизвестные. Следует остановиться прежде всего на том, что необходимо наблюдать за изменениями во время развития растения и точнее анализировать выделяющиеся метаболиты. Другой способ расширить их катаболические возможности — модификация генов, кодирующих ферменты того или иного метаболического пути. Используя ДНК-технологии, в частности рекомбинантные ДНК, можно направленно изменять метаболизм организмов, вводя в них новые гены или модифицируя уже существующие. В результате генетических манипуляций организм приобретает новые метаболические пути, например способность к синтезу нового фермента, что можно использовать для получения *in vivo* низкомолекулярных соединений — витаминов, аминокислот, красителей, антибиотиков, предшественников различных биополимеров и т.д. Такой организм становится «фабрикой» или биореактором по производству полезных метаболитов. Основная цель этих изменений состоит в создании рекомбинантного организма (биореактора) с новыми метаболическими путями или с новой ферментативной активностью, способного превращать существующий субстрат в ценный продукт, который

раньше обычно получали только сочетанием химических и микробиологических методов [Лутова и др., 2001].

Протеомика. Термин «протеомика» был предложен в целях изучения всего множества белков, кодируемых геномом [Tuers, Mann, 2003]. Исследования в области протеомики затрагивают не только все белки в любой данной клетке, но также и все варианты одного белка, его изоформ и изменений, взаимодействия между ними, структурное описание белков и их взаимоотношений в пределах одной клетки, между разными клетками в одной ткани, в пределах межтканевых взаимоотношений в целом многоклеточном организме, т.е. клеточных комплексов более высокого порядка, в которых реализуется практически весь геном. Протеомика основана на достижении высокого уровня белковой биохимии и высокой производительности соответствующих аналитических методов, позволяющих полагать, что в конечном итоге они могут позволить полное описание белковой функции протеома — совокупности белков, кодируемых разными геномами. Протеомика, очевидно, дополняет геномику, для чего используют оценки экспрессии генов на уровне клетки, клеточных сообществ и целых многоклеточных организмов. Интеграция результатов исследований геномики и протеомики с использованием методов биоинформатики в конечном итоге приведет к формированию всесторонних баз данных о функциях генов, которые будет служить как фундаментальная информационная основа белковых характеристик и их функций, необходимая для системного биологического подхода в изучении организации и функции живых объектов. При таком подходе у генных продуктов исследуются протеины. При этом изолируются все наличные протеины в определенных тканях и в определенное время разделяются.

Проект «Протеом» включает установление и расшифровку аминокислотных последовательностей и доменной организации всех белков, работающих в любом организме (в том числе и человека), обнаружение их, сопоставление с генетической картой генома и выявление всех функций. Это задача еще более сложная, чем та, которую удалось решить. Похоже, как при транскриптном анализе, не так интересно, какие собственно протеины есть в наличии, как выяснить, с какими факторами связаны изменения их состава во время развития или реакции на определенные условия среды.

Протеомика — отнюдь не самая новая из наук. Вот уже несколько десятилетий человеческую протеому (набор белков в человеческом организме) углубленно изучают во многих исследовательских центрах мира, а крупные фармацевтические компании, такие как «Bayer», «Merck» и др., вкладывают в белковые исследования немалые деньги. Прочесть человеческую протеому так же важно, как и расшифровать человеческий геном. Сегодня, даже с привлечением самых совершенных технологий и самых

последних биомедицинских идей, на создание нового лекарства уходит 15–20 лет. Зная протеому, этот срок можно сократить до 2–3 лет. Огромный шаг вперед был сделан в последние несколько лет в исследовании и анализе белок-белковых взаимодействий, белкового состава органелл, характера экспрессии различных структурных генов, кодирующих белки у раковых больных. Развитие протеомики не было бы возможным без предыдущих достижений в геномике, которые обеспечили понимание структурно-функциональной организации генов и путей реализации генетической информации в белковые продукты генов. Необходимо подчеркнуть различия между задачами протеомики и огромными, но менее сложными с биохимической точки зрения проблемами, первоначально стоящими перед геномными проектами. В отличие от масштабных исследований ДНК с использованием стандартных технологий типа полимеразной цепной реакции и автоматизированного последовательного выполнения операций протеомика имеет дело с неизбежными проблемами ограниченного количества и изменчивостью исходного для исследований материала, разрушения образцов, быстрыми изменениями в количестве (на порядок), множеством посттрансляционных модификаций, специфичностью появления и исчезновения белков в зависимости от ткани, стадии развития, патологии и влияния различных экзогенных факторов и лекарственных препаратов. Все эти трудности ограничивают развитие протеомики. В настоящее время можно выделить пять основных направлений исследований в области протеомики, связанных с развитием соответствующих технологий и их применением. К ним относятся протеомика, основанная на масс-спектрометрии, биохимический анализ протеомов разных геномов, анализ изображений и системная структурная биология, протеомная информатика и клинические приложения протеомики. Понятно, что границы между этими направлениями достаточно условны и не только потому, что методические достижения в одной области немедленно начинают использоваться в другой. Более важно то, что глубокое проникновение в особенности функции белка часто возникает благодаря комбинации разных подходов в протеомике, они дополняют друг друга. Необходимо подчеркнуть, что в отношении даже простых модельных организмов созданные карты белковых взаимодействий еще очень далеки от насыщения и совершенства. Как только плотность известных взаимодействий возрастет, появится возможность для формирования гипотез, которые, в свою очередь, будут увеличивать скорость насыщения таких карт, особенно в сочетании с другими геномными данными, включая структурные прогнозы. Когда накопится достаточное количество данных о динамике межбелковых взаимодействий, достаточных для построения моделей клеточного поведения, это позволит создавать модели для оценки последствий возникновения мутаций и приемы по разработке

лекарств, адресованных к конкретным белкам и белковым участкам. Моделирование сетевых взаимоотношений между белками является сложной задачей, которая усложняется еще больше необходимостью разработки специальных инструментов для их визуализации и возможности их объединять с другими генетическими базами данных. В этом направлении имеются огромные возможности для развития новых подходов, часть из которых уже разрабатывается в других областях, развитие которых также сдерживается информационной перегрузкой. Это относится и к разработке сложных приемов для кластеризации данных по микро-массивам ДНК (микрочипы) и их мультивариантных графических представлений, в которых используют цветные метки для выделения определенных кластеров, и т.д.

В течение последних лет происходило бурное развитие ДНК-технологий, определились сферы приоритетного внедрения конкретных результатов биотехнологических разработок и, как следствие, появились такие названия, как медицинская ДНК-технология, иммунобиотехнология (от лат. *immūnus* — невосприимчивый), биогеотехнология (от греч. *geo* — земля), инженерная ДНК-энзимология (от греч. *en* — в, *zyme* — закваска). Одни из них прочно входят в лексикон специалистов, например иммунобиотехнология, инженерная энзимология; другие названия приживаются плохо или с трудом (медицинская ДНК-технология, биогеотехнология). К медицинской биотехнологии относили те производственные процессы, которые завершались созданием с помощью биообъектов средств или веществ медицинского назначения (прежде всего профилактического или лечебного действия на организм человека). Это — антибиотики, некоторые витамины, коферменты и ферменты, отдельные микробные полисахариды — как самостоятельные препараты или вспомогательные вещества при создании различных лекарственных форм, аминокислоты, нуклеозиды и др.

Биоинформатика. При геномном анализе нарастает большой объем данных. Биоинформатика — область исследований для создания методов, которые оценивают данные. Она является комбинацией информатики и молекулярной биологии. Биоинформатика занимается управлением сверхбольшими объемами данных, а также созданием «вычислительных правил» (алгоритмов), чтобы выявлять, например, последовательность ДНК, где начинается новый ген. Чтобы дать представление о требованиях биоинформатики, можно обратиться к наглядному примеру о размере генома: чтобы записать ДНК-последовательность растения *Arabidopsis*, требуется 125 томов, каждый по 1000 страниц. Для сравнения двух генотипов друг с другом нужно искать отличия в каждой из 125 таких книг. Для биоинформатики это не проблема, и сегодняшние методы подходят для анализа очень многих больших геномов и для связи информации сек-

венирования с результатами других методов протеомики, метаболомики и т.д.

Один из первых опытов по трансформации соматических клеток *in vitro* был проведен Ду и другими. По их данным, инкубация клеток эпителиомы крысы с лимфоцитами мыши *in vitro* с последующим введением этой смеси крысам приводит к появлению в клетках эпителиомы крысы антигенных свойств, характерных для лимфоцитов мыши. Как показано позднее, опухолевые клетки как *in vitro* так и *in vivo* могут сливаться с нормальными клетками иногда с высокой частотой — до 10^{-4} . Шибальские использовали селективные среды для выявления и селективного размножения трансформированных клеток *in vitro*. С этого момента прогресс в исследованиях по генетической трансформации соматических и половых клеток непрерывно нарастает. Появилось огромное количество публикаций, посвященных изучению процесса переноса генов и использованию методов генетической трансформации в качестве инструмента в исследованиях разнообразных проблем биологии и медицины. Этому способствовало внедрение методов ДНК-технологии, что позволило вводить отдельные клонированные эукариотические гены. В результате наступило время, когда появились методы для направленного конструирования и целесообразного изменения эволюционно сложившихся геномов высших организмов. Благодаря методам культуры тканей и клеток разрешены проблемы, связанные с несовместимостью и стерильностью у ряда отдаленных гибридов. Установление гомологии у видов растений одного семейства на уровне ДНК открывает перед генетикой и селекцией новые возможности. Например, томаты и картофель, принадлежащие к семейству *Solanacea* и имеющие одинаковый набор хромосом ($2n = 12$), не скрещиваются друг с другом. При помощи картирования и секвенирования можно установить степень гомологии генетического материала у этих видов. Высокая степень гомологии томатов и картофеля позволяет замещать хромосомы или хромосомные сегменты в них методом соматической гибридизации или прямым введением генетического материала. Кроме того, есть реальная возможность изменения и совершенствования старых и получения новых сортов и гибридов растений.

За последние несколько лет получено большое количество трансгенных растений. Кроме маркерных, изолированы, клонированы и перенесены чужеродные гены, определяющие устойчивость к гербицидам, насекомым-вредителям, вирусам, а также гены, связанные с запасными белками, регулируемые светом и т.д. В большинстве случаев чужеродные гены экспрессируются нормально, имеют стабильное наследование и не влияют негативно на фенотип растения-хозяина и его потомство. Прогресс, достигнутый в области регенерации растений *in vitro*, переноса генов и рекомбинантных ДНК-технологий, открыл новые возможности

изолирования, выделения и трансформации генами, контролирующими такие хозяйственно важные признаки, как устойчивость к болезням и засолению почв, засухо- и морозоустойчивость, улучшение основных селекционных признаков, в том числе питательных и вкусовых качеств, и т.д.

Генофонд человечества

Особый ресурс человечества — его собственный генофонд. Некоторый уровень рецессивных мутаций, в том числе летальных (смертельных) или вызывающих различные генетические заболевания, — нормальное проявление существования у человека резерва наследственной изменчивости. Рождение отдельных детей с признаками генетических нарушений или даже уродств — неизбежная плата за сохранение приспособляемости. Однако если 300 лет назад, когда в Париже впервые был проведен учет уродств у новорожденных, число детей с явными генетическими нарушениями составляло менее 0,03%, то сейчас в большинстве стран оно возросло и составляет от 1 до 5%, а в отдельных местах экологических бедствий достигает 10%. Разумеется, эти данные нельзя сравнивать без поправок на разницу в методах диагностики 300 лет назад и теперь, к тому же высокая детская смертность в прошлые столетия частично «маскировала», по-видимому, некоторые генетические нарушения. Тем не менее рост числа генетических нарушений у людей не вызывает сомнений.

Этот «генетический груз» дорого обходится людям как экономически, так и психологически. Считается, что критическая величина частоты генетических нарушений у новорожденных составляет 13%. Это означает, что генетический груз становится настолько велик, что вырождение популяции уже неизбежно. Кстати, это было одним из главных соображений, заставивших противостоявшие друг другу ядерные державы еще в 1960-е гг. договориться о прекращении испытаний этого оружия в воздухе, на земле и на воде. Тем не менее радиоактивное загрязнение среды снова возрастает. Кроме того, многие химические вещества, загрязняющие воздух, воду и пищу, обладают сильным мутагенным действием. Это ставит под угрозу сохранение генофонда человечества.

Одной из центральных проблем генетики является явная недостаточность информации по частной генетике человека, малое количество экспериментальных данных о популяционно-генетической изменчивости в процессах эволюции, о возможных механизмах такой изменчивости. Решение этих задач могло бы упростить генетическое маркирование комплексов признаков человека, их раннюю диагностику и, таким образом, резко увеличить эффективность и ускорить работу по сохранению генофонда человечества.

Безграничной способности живого к размножению противостоит генетический механизм самоуничтожения, начинающий действовать при достижении популяциями предела жизненных ресурсов их экологической ниши, названный «синдромом лемминга». Следуя ему, дельфины и киты выбрасываются на берег. У человека он замещен синдромом самоубийства и войн на истребление. Статистика последних лет четко свидетельствует о начале психосоматической дезадаптации человечества — резком росте числа самоубийств, в том числе и коллективных, наркомании, алкоголизма и других форм «ухода от жизни», в том числе в мир эзотерических иллюзий. Повсеместно фиксируется хроническая усталость и массовая пассивизация населения. Из этого можно сделать вывод, что психологическая установка на самоуничтожение приобретает явно глобальную выраженность [Зубаков, 2001].

Дети по замыслу. Может показаться немного странным, что теперь реально выбрать пол ребенка с большей точностью, чем менять генетику конкретных свойств. Отчасти это связано с огромным успехом в области достижений в методах воспроизводства человека. Многие пары отчаянно хотят иметь детей и по разным причинам не способны на это. Здесь возможно некоторое количество процедур, чтобы увеличить шансы. И подобные действия обычно признаются вполне разумным решением вопроса.

Говоря с точки зрения теории, какое отношение это имеет к эволюции? Ведь перед нами сама сущность того, что обычно решала природа. При естественном отборе только некоторые пары могли произвести на свет потомство, а иные способны были иметь больше детей, чем другие. Но в настоящее время естественный отбор, очень вероятно, станет наименее значительным фактором при определении, рожать ли паре ребенка.

При культурном отборе шансы иметь детей решительно изменились. Даже шанс 50 × 50 родить или девочку, или мальчика исчез. Выбор пола для следующего ребенка теперь можно сделать с почти гарантированным желаемым результатом. Правда, возникла тревога, что соотношение полов в будущем очень сильно выбьется из равновесия. Но также выдвигался довод, что один пол станет слишком редким, он обретет повышенную ценность. Это могло бы привести к восстановлению более раннего равновесия соотношения полов.

Очевидно, есть сильное чувство протеста против любых попыток произвести клонов человека со стороны научных и иных культурных слоев общества. Не последняя из забот состоит в том, насколько реальна выживаемость клонов после появления на свет.

Культурный отбор — процесс, согласно которому гены выбираются для какого-то желаемого результата или у взрослого, или при рождении детей.

Современная репродуктивная технология сделала возможным рождение детей из многих комбинаций источников яйцеклеток и сперматозоидов. Другие методы воспроизводства включают оплодотворение в пробирке и перемещение эмбриона, а также искусственное оплодотворение донором спермы. Эти методы вместе с методами, способствующими оплодотворению, получили несомненную поддержку общества.

Как бы ни обернулось дело с клонированием человека, вряд ли оно окажет сколько-нибудь существенное влияние на будущее нашего вида, по крайней мере пока клонирование, даже если его с успехом разовьют для людей, будет применяться в единичных, отдельных случаях.

Гораздо больше волнует многих, со многих точек зрения, неотвратимый рост населения в глобальном масштабе. При обсуждении воспроизводства дискуссии, касающиеся нашего будущего, сосредоточены на изменении качества человеческих фенотипов и генотипов. Но актуальность этих вопросов существенно понижается на фоне проблем с продовольственной безопасностью, угрозой голода и вопросами перенаселенности человечеством земного шара по отношению ко все уменьшающимся возможностям его энергообеспечения.

Эволюционный фатализм может аргументированно утверждать, что, если мы выберем неправильный путь, наше место немедленно займут другие. Тараканы и серые крысы кажутся весьма серьезными кандидатами — живыми существами, распространенными по всему миру.

А вот эволюционный оптимизм видит наше будущее в самых ярких красках изображений на стенах доисторической пещеры. Время покажет, чей прогноз восторжествует.

Человечество на распутье. Куда пойдет его биологическая эволюция? Какое социальное будущее нас ждет? Устоим ли мы — носители Разума — перед иррациональными последствиями использования тех сил, которыми овладели, чтобы выжить? Никто, кроме нас и наших потомков, не ответит на эти вопросы. Чтобы выжить в этом мире, надо его исследовать и уметь изменять. Такова судьба и предназначение Человека во Вселенной. Высокая и трагическая судьба. Иной нам не дано.

В заключение необходимо привести недавнее публичное выступление 110 нобелевских лауреатов, прославившихся в разных областях наук, в котором они предостерегают человечество от блокирования генно-инженерных исследований. Перевод письма с английского на русский представлен ниже.

29 июня 2016 г. «Вашингтон пост» опубликовала статью о том, что 110 лауреатов Нобелевской премии направили письмо в организацию «Гринпис», ООН и правительствам всего мира с рекомендацией пересмотреть отношение к ГМ-сортам растений и их использованию (Washington

Post — More than 100 Nobel Laureates take on Greenpeace over GMO stance). В этом письме говорится следующее.

Сельскохозяйственная программа ООН по продовольствию отмечает, что мировое производство продуктов питания, кормов и волокон должно приблизительно удвоиться к 2050 г. для удовлетворения потребностей растущего населения. Организации, выступающие против методов современной селекции, с лидирующей «Гринпис», неоднократно отрицали эти факты и активно выступают против биотехнологических инноваций в сельском хозяйстве. Они искажают риски, выгоды и последствия, а также поддерживают преступные посягательства на утвержденные полевые испытания и исследовательские проекты.

Мы призываем «Гринпис» и его сторонников пересмотреть опыт фермеров и потребителей во всем мире, работающих с культурами и продуктами, улучшенными с помощью биотехнологий, признать результаты авторитетных научных и контролирующих органов и отказаться от своей кампании против «ГМО» в целом и «золотого риса» в частности.

Научные и регулирующие органы всего мира неоднократно и последовательно доказывали, что культуры и продукты, улучшенные с использованием биотехнологий, столь же безопасны, если не безопаснее, чем те, которые получены любым другим методом производства. Не было ни одного подтвержденного случая отрицательного результата для здоровья человека или животных от их потребления. Неоднократно показано, что их воздействие на окружающую среду менее опасно по сравнению с исходными методами выращивания культур и является благом для сохранения глобального биоразнообразия.

«Гринпис» возглавил оппозицию, выступающую против «золотого риса», который имеет высокий потенциал для уменьшения или даже устранения смертей и заболеваний, вызываемых дефицитом витамина А, который оказывает наибольшее влияние на бедных людей в Африке и Юго-Восточной Азии.

По оценкам ВОЗ, 250 млн человек страдают от дефицита витамина А, в том числе 40% детей в возрасте до пяти лет в развивающихся странах. Основываясь на статистике ЮНИСЕФ, в общей сложности от 1 до 2 млн смертей, которые можно было бы предотвратить, ежегодно происходит вследствие дефицита витамина А, потому что это ставит под угрозу иммунную систему, прежде всего у детей. Сам дефицит витамина А является ведущей причиной детской слепоты во всем мире, затрагивающей 250–500 тыс. детей каждый год. Половина из них умирает в течение 12 месяцев после потери зрения.

МЫ ПРИЗЫВАЕМ «ГРИНПИС» ПРЕКРАТИТЬ и воздерживаться от кампании против «золотого риса» и культур, и продуктов, улучшенных с помощью биотехнологий в целом.

МЫ ПРИЗЫВАЕМ ПРАВИТЕЛЬСТВА ВСЕХ СТРАН МИРА отказаться от участия в кампании «Гринпис» против «золотого риса» и культур, и продуктов, улучшенных с помощью биотехнологий в целом, и сделать все, что в их силах, чтобы противостоять действиям «Гринпис» и ускорить доступ аграриев ко всем инструментам современной биологии, особенно к семенам, улучшенным с помощью биотехнологий. Противостояния, основанные на эмоциях и догмах, опровергаемых прямыми экспериментальными данными, должны быть прекращены.

Сколько бедных людей в мире должно еще умереть, прежде чем мы посчитаем, что это «преступление против человечности»?

Часть II

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В «ОБЩЕСТВЕ РИСКА» С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ФИЛОСОФИИ

ВВЕДЕНИЕ. Техногенная цивилизация, «общество риска» и феномен «опасного знания»

Термином *экология* принято обозначать научную дисциплину, предмет изучения которой составляет совокупность отношений организмов с окружающей средой и друг с другом. В ходе исторического развития эти отношения все более приобретают характер сопряженной эволюции взаимозависимых информационных систем.

Таким образом, как только исследователь переходит от анализа отношений изолированного организма с окружающей гомо- или гетерогенной средой обитания к синтезу целостной системы взаимосвязей зависимых друг от друга организмов, понятия *экология* и *коэволюция* оказываются интегрированы в едином концептуальном поле.

С другой стороны, категориальный аппарат эволюционной экологии оказался адекватным инструментом исследования неравновесных, нелинейных систем, обладающих памятью и способных к автономной репликации. Именно с этим обстоятельством связано отмеченное Н. Киселевым и Ф. Канахом (2000,) восприятие (возможно, несколько гипертрофированное) экологии как дисциплины, «ассимилирующей все проблемы естественно-научного и социогуманитарного профиля». В этом смысле экология (наряду с генетикой, о чем будет сказано ниже) является тем каналом, через который происходит плодотворный информационный и концептуальный обмен между этими сферами духовной культуры. Симптомом этого стало возникновение двух междисциплинарных отраслей науки — социальной экологии и конституировавшейся в последние годы социальной генетики (*community genetics*).

Среда обитания человека, наряду с абиотическими и биотическими компонентами, имеет и социокультурную составляющую. Равным образом ролевые отношения отдельных членов социума определяются и биологическим, и социальным статусом составляющих его индивидуумов. Эволюционно-экологический стиль мышления радикальным образом влияет на представления человека о закономерностях развития, целях и этике развития культуры, технологии, цивилизации в целом. В своем комплексе проблемы отношений Общества и Природы составляют предмет социальной экологии. Однако по мере усложнения и дифференциации структурно-функциональной организации социума его отдельные элементы обретают определенную автономию. В этом смысле, на наш взгляд, можно говорить и о социальной экологии науки, социальной экологии технологии и т.п.

Соответственно, предмет исследования социальной генетики можно определить как изучение взаимодействия биологической и социокультурной форм наследования. Действительно, социальные проблемы, возникающие в результате прогресса генетики и генных технологий, невозможно, как правило, решить лишь с использованием средств только естествознания или социогуманитарных дисциплин. Предлагаемые ими концепции оказываются комплементарными и несводимыми друг к другу. Каждый раз оказывается необходим не только междисциплинарный, но и этикокультурный концептуальный синтез. Сказанное в принципе относится и к социально-экологическим коллизиям.

По самой своей природе наука играет роль приемника и коллектора, обеспечивающего приобретение обществом объективной информации о природных системах. Она обеспечивает формирование в менталитете адекватной модели окружающей среды, следовательно, модусов поведения, обеспечивающих выживание и благополучие вида *Homo sapiens*. Иными словами, в соответствии с получаемой научной информацией осуществляется непрерывная модификация и оптимизация адаптивной эволюционной стратегии человечества.

Подобно организмам, живущим в зоне приливов, на границе трех сред — моря, суши и атмосферы, естествоиспытатель живет в трех мирах — обезличенной и бесстрастной, чуждой понятиям добра и зла природы, заинтересованного, пристрастного и противоречивого мира субъективных идей и мира объективного знания, обеспечивающего связь природы и сознания.

Любой эксперт в социально значимой области исследований учитывает, по крайней мере подсознательно, «как слово наше отзовется» в обществе, а следовательно, находится в ситуации потенциального конфликта интересов. Причины такого конфликта проистекают из многозначности его (исследователя) социальных ролей — члена научного

сообщества, сторонника определенной политической партии, верящего или не верящего в Бога, как его понимает конкретная религиозная конфессия, носителя определенного этнокультурного типа и пр. Удивительно не то, что этика, политика, религия и т.п. постоянно вторгаются в научное знание, а то, что, несмотря на это, проблема демаркации науки, как сформулировал ее Карл Поппер, оказалась разрешимой, по крайней мере, практически. Об этом свидетельствует грандиозная конструкция «позитивного знания», возведенная человечеством за последние 350–400 лет.

Новая научная информация в конечном итоге усиливает адаптивный потенциал человечества, но она же может стать причиной усиления существующих и возникновения новых источников социальной нестабильности (социальных рисков). Следствием этого должно стать развитие в социуме адаптивной реакции. До разрешения этой ситуации соответствующий массив научной информации воспринимается обществом как «*опасное знание*», «*опасная наука*» (*risk science*). По сути, исследование феномена «опасного знания» равнозначно изучению механизмов инициации, пролиферации и терминации коэволюционного конфликта, возникающего в системе «природа — наука — социум».

По определению наличие риска означает присутствие некоторого источника опасности в социоэкологической среде обитания человека. С возникновением феномена «опасного знания» таким источником становится то, что ранее считалось условием и предпосылкой безопасности.

Современная (постиндустриальная) фаза эволюции техногенной цивилизации имеет свои качественные отличия от предшествующих стадий социоэкономического развития. Хозяйственная деятельность всегда была сопряжена с риском, и превращение науки в непосредственную производительную силу (в соответствии с расхожим, но от того не менее точным высказыванием Карла Маркса) означает, что риск становится атрибутом не только социоэкономического, но и научно-технического прогресса.

Цикл производства риска и цикл производства богатства — два неразрывно сопряженных между собой процесса. Технологические инновации служат не только удовлетворению человеческих потребностей и формированию новых. Они снижают уровень уже существующих, возникших на предыдущих фазах противостояния человека и природы рисков и в силу исторической ограниченности научных знаний порождают при этом новые риски, элиминация которых — задача следующих инноваций.

Таким образом, в ходе социоэкономического развития человек постоянно «вытесняет» риски и опасности собственному существованию и благополучию за пределы контролируемой обществом части природы. На-

прашивается аналогия с живыми организмами, поддерживающими постоянно собственную организацию и константность структуры, «выбрасывая» энтропию в окружающую среду.

Благодаря адаптивной стратегии преобразования природы человечество существенным образом уменьшило величину опасности, происходящей от действия природных катаклизмов и непредвиденного действия природных сил, находящихся вне социокультурной сферы среды обитания, контролируемой человечеством.

На первый взгляд выглядит парадоксом, что резкое повышение статуса устранения риска в шкале приоритетов техногенной цивилизации наблюдается именно теперь — на рубеже II и III тысячелетий н.э. Угроза голода в развитых странах ликвидирована. Продолжительность жизни за последние 100 лет увеличилась в несколько раз — с 27–30 до 70–75 лет. Точно так же снизилась величина детской смертности; эпидемии чумы, холеры и других инфекционных болезней, в эпоху Средневековья опустошавших страны Европы, ликвидированы. Современные инфекции — «птичий грипп», «атипичная пневмония», «болезнь легионеров» и пр. несопоставимы с ними по наносимому ущербу, и во всяком случае, современная медицина располагает значительно более мощным и хорошо апробированным арсеналом профилактики и лечения инфекций по сравнению с временами Антони Ван Левенгука и Луи Пастера. (Единственное исключение представляет собой синдром приобретенного иммунодефицита, но благодаря работам по редактированию генома и эта проблема решена.) В социуме сформировались достаточно мощные механизмы социальной защиты от риска и структуры, осуществляющие эту функцию.

Но ограничен не только объем наших знаний о природе, обществе и самих себе. Ограничены и доступные природные ресурсы, необходимые для удовлетворения наших потребностей. Ограничены и емкость гомеостатических процессов в биосфере, позволяющих компенсировать последствия производственной и хозяйственной деятельности. В силу этого производственная деятельность человечества была неизбежно связана с прогрессирующим истощением возможностей использования уже вовлеченных в хозяйственную деятельность ресурсов и постоянным поиском и вовлечением в производство новых ресурсов. В результате к концу XX в. возможности среды обитания компенсировать ее последствия, поддерживать основные параметры в пределах, пригодных для достойного существования самого человека, оказались почти исчерпанными. Уровень производства рисков стал приближаться к объему производства богатства. Такова объективная основа трансформации техногенной цивилизации в «общество риска».

«От доиндустриальных природных бедствий риск отличается тем, что его истоки надо искать в решениях, которые принимаются не индиви-

дами, но целыми организациями и политическими группами», — справедливо заметил У. Бек в одной из своих статей [Бек, 1992]. И с другой стороны — в науку проникает неустраняемая этическая составляющая, происходит синтез двух когнитивных моделей, двух аксиологических систем — естественно-научной и социогуманитарной: «опасное знание» и технологический риск «допускают что-то вроде “технологической морализации”, которая больше не нуждается в непосредственном применении моральных и этических императивов... Применительно к подобным случаям можно сказать, что исчисление рисков — это пример своеобразной этики без морали, математической этики технологического века» [Бек, 1994].

Категория риска, а следовательно, и «опасного знания» имеет не только объективно-научную, но и альтернативную — субъективно-ментальную, социокультурную составляющую.

Во-первых, восприятие риска не в последнюю очередь зависит от индивидуально-личностных качеств субъекта. А последние, в свою очередь, преформируются предшествующей генно-культурной и социокультурной эволюцией.

Во-вторых, интерпретация степени опасности в значительной мере определяется культурно-психологическими парадигмами. В культурологической теории риска Мери Дуглас и Аарона Вилдавски именно культурно-психологической компоненте отводится роль ведущего формообразующего фактора, определяющего восприятие создаваемого наукой и технологией риска социумом и отдельными индивидуумами.

Однако если восприятие риска и меняется в зависимости от культурного контекста, усиливаясь или ослабевая в зависимости от этических и идеологических стереотипов, то все же исходный материал для интерпретации в терминах риска или выгоды предоставляется собственно наукой. В генезисе, инициации и развитии опасного знания, по нашему мнению, играют свою роль все три составляющие — исследование наукой результатов собственной деятельности, биолого-генетические предпосылки индивидуальных различий восприятия и реакции на потенциальную угрозу и возможный выигрыш, социокультурная канализация способов оценки риска. Аргументы в пользу этой точки зрения будут изложены в последующих разделах.

Появление доктрины «опасного знания» стало одним из симптомов трансформации менталитета человечества на рубеже III тысячелетия — ощущения глубокого кризиса, переживаемого современной цивилизацией, тупика, в котором оказался *Homo sapiens* в результате последовательной реализации адаптивной стратегии, основанной на познании и преобразовании природы в соответствии со своими потребностями — вначале биологическими (выживание и размножение), а затем все более изощрен-

ными и все менее связанными, а то и разрушающими основу существования и самого человечества, и биосферы в целом.

Одним из истоков этой тенденции является разочарование в научном прогрессе, который ранее рассматривался как единственный способ решения социальных и гуманитарных проблем, преодоления затруднений и кризисов, перед лицом которых оказывалось человечество. С конца 50-х — начала 60-х гг. XX в. [Моисеев, 2000; Печчеи, 1985; Форрстер, 1978] — отсчет можно вести с разработки экологической модели последствий ядерной войны («ядерная зима») и прогнозов Римского клуба — мироощущение, а затем и сама стратегия выживания западной цивилизации претерпели радикальные перемены. Переход из фазы индустриального общества в фазу постиндустриальную — ядерные, информационные, компьютерные, генные технологии, вызванный ими футурошок — привели к кризису ментальности техногенной культуры.

В основе футурошока лежит, по замечанию известного российского футуролога И.В. Бестужева-Лады, так называемая *футурофобия* — боязнь будущего, страх перед тем, что мы называем научно-техническим и социальным прогрессом. «Футурофобия, — пишет он далее, — в известном смысле играет положительную роль для отбраковки идей (обычно — подавляющего большинства почти всех идей той или иной направленности), способных привести к порождению нововведений опасных, губительных для общества. И поскольку инновационные силы сегодня значительно мощнее, все чаще успешно преодолевают спасительный для общества «эффект футурофобии», необходимы искусственные механизмы, имитирующие его, для «испытания на прочность», точнее, на конструктивность каждого нововведения. В этих механизмах важную роль призваны сыграть различные способы «взвешивания» последствий намечаемых или реализуемых нововведений». Итак, пока футурофобия интегрирована в систему инновационной селекции, она служит синхронизации темпов социокультурных и научно-технологических трансформаций, т.е. обеспечивает их сопряженную стабильную эволюцию. Иное дело — футурошок, развивающийся в том случае, когда величина футурофобии превосходит верхнюю границу адаптивной нормы. «Футурофобия, если пустить дело на самотек, предоставить событиям развиваться стихийно, все еще достаточно сильна, чтобы подавить любое в принципе нововведение, причем отнюдь не исключено, что подавлено будет как раз конструктивное, позитивное и тем самым открыта дорога для опасного, губительного». Таким образом, заключает И.В. Бестужев-Лада, проявления футурошока и футурофобии не должны реализоваться целиком спонтанно, оказывается необходимой разработка методологии социополитического мониторинга и контроля: «Необходимы искусственные механизмы, не позволяющие рутинному мышлению пресечь

конструктивное нововведение в зародыше. Для этого нужно, во-первых, научиться отделять плевелы от зерен, т.е. потенциально конструктивные нововведения от потенциально разрушительных для общества. Во-вторых, нужно научиться уберегать нарождающееся конструктивное от обычно господствующего рутинного. В обоих случаях “взвешивание” позитивных и негативных последствий также способно сыграть благотворную роль при одном условии: при четких теоретических установках, учитывающих сложный диалектический характер “эффекта футурофобии” в обыденном сознании» [Бестужев-Лада, 2002].

Таким образом, вопреки мнению Ф. Фукуямы [Fukuyama, 1989, 1992], пусковой механизм, приведший к глубоким изменениям в культуре и экономике западной цивилизации, ведет свое начало не из философско-антропологических конструктов, а из результатов конкретно научных междисциплинарных изысканий. Можно, вероятно, считать концепцию риска логически вытекающей из саморефлексивной методологии научного исследования, внедрившейся в естественные и экономические науки, которые, таким образом, приобрели свойство «человекоразмерности». Столь же справедливо утверждать, что концепция риска возникла в результате синтеза двух когнитивно-объяснительных моделей — естественно-научной и социогуманитарной.

В настоящее время число публикаций в области исследований социальных и техногенных рисков огромно [Данилов-Данильян, Лосев, 1998; Зубков, 1999; Исаев, Шляпентох, 1999; Левашов, 2002; Лесков, 2001; Лось, Урсул, 2000; Луман, 1994; Назаретян, 2001]. Из всего тематического разнообразия исследуемых проблем выделим три, имеющие непосредственное отношение к настоящему исследованию.

Стратегия адаптации к риску. Принципиально возможны две альтернативы приспособления человечества к рискогенной социоэкологической среде. Первую из них можно было бы назвать «*стратегией элиминации (устранения) источников риска*». Исходным в этом случае может быть изменение либо социокультурной, либо генетико-биологической составляющей бытия человечества. Основную идею первого сценария сформулировал Н.Н. Моисеев [Моисеев, 2000]: «Следование принципам и ценностям, утвердившимся после неолитической революции, которые определяли развитие общества, может иметь для человечества самые трагические последствия. Человечество подошло к необходимости очередной перестройки характера своей эволюции, ее механизмов. И снова, как и в палеолите, когда был изобретен каменный топор, и в неолите, когда люди создали метательное оружие, основной причиной кризиса оказывается несоответствие поведения человека тем техническим возможностям второй природы, которые открывает цивилизация. И каждый раз эти противоречия раскрываются по-своему». Для второго сценария

подходящую метафору подобрал В.В. Вельков (2004): «Пришло время второго изгнания из Рая, когда человек “в поте лица своего” сам будет “создавать и скот свой, и злаки свои”, и сам будет гены рода своего» (автор воспользовался парафразом Ветхого Завета [Бытие, 3, 17–19]).

Достаточно очевидно, что в случае реализации любой из этих возможностей подразумеваются фундаментальные изменения в менталитете, идеологии и культуре западной цивилизации, ее переориентация на несовместимую (или, по крайней мере, весьма отличную) систему ценностных приоритетов в сравнении с ныне существующей.

Альтернативная стратегия — *стратегия управления риском*. Это означает нахождение решения проблемы, не выходящей за пределы технологического детерминизма как идеологии техногенной цивилизации. В одном из своих фантастических романов Роберт Хайнлайн наиболее резко очертил основную идею этой стратегии, еще не замутненной никакими отклонениями от идеологии технологического оптимизма: «Нам придется научиться жить с этим кошмаром, так же как мы научились жить при атомной бомбе» [Хайнлайн, 1992]. Иными словами, обратной дороги нет, нет и реальной альтернативы, только вперед! Предусматривается создание политико-экономической организации общества, направленной на минимизацию величины антропогенного, техногенного и социального риска и удержание его в «*приемлемых*» границах. В данном контексте «*приемлемый*» означает, очевидно, что величина риска не ставит под сомнение существование разумной жизни и ее носителя *Homo sapiens* с присущей ему генетико-соматической организацией.

Финансовая технология управления риском уже существует и отработана в течение нескольких столетий (имеется в виду система страхования). Естественно, самого по себе экономического механизма недостаточно, требуются новые технологические схемы и методологии материального производства, политического (биополитического) управления, образования и воспитания и т.д. Наиболее обстоятельной попыткой создания целостной системы минимизации риска можно считать концепцию устойчивого развития по программе «Повестка дня на XXI век», принятой на конференции в Рио-де-Жанейро представителями 179 государств. Программа предусматривает 2500 видов согласованной совместной деятельности стран в 150 областях (Подробнее см.: [Левашов, 2001]).

Социальная психология и социология восприятия риска. Несмотря на достаточно большой интерес к исследованию социокультурной обусловленности понятия риска, социология катастрофического сознания и социально-психологический механизм формирования тех или иных фобий, связанных с восприятием риска, крайне немногочисленны. Этот факт констатируется в одном из фундаментальных исследований последнего вре-

мени. Здесь же отмечается и другое обстоятельство: при превышении ментальной реакции на риск некой пороговой величины она перестает быть адекватно адаптивной. При этом в обществе возникает и распространяется в широких масштабах особый тип мышления и сознания — катастрофический. Если же уровень страха, порождаемого реальными источниками социального риска, оказывается ниже минимального порога, происходит социальная демобилизация, также имеющая явный деструктивный эффект. Таким образом, стабильно-гомеостатическое развитие общества возможно только в определенном диапазоне ментальной реакции на риск. За его пределами социум теряет свою социокультурную пластичность, способность контролировать величину риска на приемлемом уровне. При этом характер каждой из угроз настолько своеобразен и всеобъемлющ, что это фактически делает невозможным создание общесоциологической теории страха: феномена, в котором сильно переплетены эмоциональный и когнитивный компоненты [Шляпентох, 1999].

Научное знание как один из основных источников социального риска. Очевидно, что природа техногенной цивилизации делает науку и технологию одним из основных источников риска, и в то же время — единственным средством диагностики и элиминации, или устранения, его источника. Концепция стабильного развития подразумевает необходимость разработки рациональных способов управления риском этого рода. Однако для этого оказывается необходимым понять природу и механизмы генезиса феномена «опасного знания», превращения научной теории из фактора силы в фактор слабости.

Риск начинает восприниматься не как факультативный, преходящий, а как облигатный, неустранимый элемент социальной жизни, одна из наиболее важных движущих сил эволюции человечества. Современное общество действительно превращается в «общество риска». Этот бренд введен в обиход Ульрихом Бекон [Bek, 1992] и Никласом Луманом [Luhmann, 1991]. Несколько ранее попытку анализа современной цивилизации под этим углом зрения предприняли М. Дуглас и А. Валдавски [Douglas, Wildavsky, 1982]. Это означало начало коренной трансформации политического мышления и экономической философии Запада, волна которой, благодаря мощной экспансионистской тенденции, характерной для техногенной цивилизации, с большей или меньшей скоростью проникает в ментальность стран постсоветского геополитического пространства и «третьего мира».

Сущность подобной трансформации нельзя свести просто к усилению антисциентистских тенденций в общественном мнении и прогрессирующем ослаблении доминант техногенного детерминизма.

Девиз техногенной цивилизации можно было выразить трехчленной формулой, восходящей к знаменитому афоризму Френсиса Бэкона:

*Знание — Сила,
Знание — Безопасность,
Знание — Благо.*

Первые два члена этой триады присутствуют в концепции техногенной культуры в явном виде, третье обычно подразумевается неявно, но позитивная эмоциональная окраска научного *Знания*, обеспечивающего его обладателю и *Силу* противостоять природным стихиям и сознательному злему умыслу, и способность обеспечить собственную *Безопасность* в этом враждебном и переменчивом мире, очевидна.

Ныне положение изменилось. Доктрины, если не отрицавшие реальность научно-технического прогресса, то сомневающиеся в том, что новое Знание есть не только Сила, но и Добро, появлялись за время существования техногенной цивилизации (XVII–XX вв.) не раз, но в настоящее время они стали элементом практической политики. Социальный статус науки и технологии в массовой культуре заметно снизился. Как писал В. А. Кутырев (1989, 1992, 2015) и многие другие, отставание темпов реального технологического прогресса от футурологических и художественных прогнозов середины XX в. вызвали у рядового обывателя чувство «обмана и разочарования». Однако и сама наука приобретает новый имидж: «Социум перестал воспринимать прогресс науки и медицины однозначно положительно», тогда как в прошлом «исследования в области медицины... ассоциировались с идеей прогресса и процветания. Приобретение новых знаний расценивалось как шаг перспективный, научные достижения никогда не воспринимались как движение назад» [Запорожан, 2001].

Эти изменения ментальных установок четко зафиксированы уже и в сфере методологических конструктов. Так, например, развиваемой Б. Г. Юдиным и И. И. Ашмариним концепцией гуманитарной экспертизы [Ашмарин И. И., Юдин Б. Г., 1997; Скирбекк Г., 1991; Skirbekk G., 1993] научно-технических инноваций в качестве ее основополагающих принципов предлагаются:

1) *презумпция виновности* — любая социальная или научно-техническая инновация может рассматриваться как источник риска, пока в отношении нее не доказано обратное;

2) *презумпция бдительности* — социальный риск научно-технической инновации возникает не вследствие принципиальной непредсказуемости ее результатов, а благодаря отсутствию или низкой эффективности системы мониторинга.

Иными словами — наука становится объектом глобального социального контроля.

И наконец, гипертрофированный рост недоверия к науке в глазах некоторых исследователей приобретает глобальный характер «кризиса кон-

цепций масштабных социальных модернизаций» [Крымский, 2001], который укореняется в массовом сознании. Парадокс в том и состоит, что прогресс технологии в значительной мере ответствен за генезис и пролиферацию массовой культуры и массового сознания. Как известно, понятие «человека-массы» ввел в философскую традицию в 1930 г. испанский мыслитель Ортега-и-Гассет (1989), который именно науке наряду с политической демократией отвел роль главных «виновников» возникновения и усиления влияния массового сознания и массовой культуры со всеми негативными чертами, присущими регрессивному типу личности: статичным стереотипным поведением и мышлением; разорванностями и противоречивостью сознания; резкими неожиданными изменениями этических оценок одних и тех же событий («ситуативная этика»). *XXI век — это век «опасного знания», эпоха «общества риска».*

Генезис «опасного знания» — процесс, далекий от одномерности и линейности, свойственных футурологическим социальным моделям, возникшим на базе идеологии технологического оптимизма и детерминизма.

С точки зрения *онтологии науки* «опасное знание» есть побочный, не основанный на сознательном целеполагании результат использования научных разработок, плод вероятностной природы любой научной теории. Источник социального риска здесь — неполнота и ограниченность научного знания, неспособность постижения абсолютной истины. Демон Лапласа, способный просчитать координаты и импульс всех частиц во Вселенной, считал бы это понятие лишенным логического смысла.

В аспекте *теории познания* осознание риска, проистекающего из развития науки и технологии, преформируется самой наукой, ростом саморефлективной составляющей исследовательской деятельности. Этот риск, по справедливому замечанию У. Бека, не имеет цвета и запаха, осознать его наличие и оценить степень угрозы можно только в ходе научного анализа. Изменение эпистемологической ситуации, связанное с генезисом «опасного знания», проявляется и в следующем — герменевтический (текстологический) анализ естественно-научных текстов прорастает из сферы гуманитарного знания в область междисциплинарных и собственно естественно-научных исследований. А следовательно, объективно-безличностные и субъективно-аксиологические элементы в «ткани» теоретических конструкторов оказываются сплавлены в некую целостность. Вопросы «Кому это выгодно?», «Чьим интересам это соответствует?» и т.п. переносятся из сферы гуманитарного знания и прикладных технологических разработок в область фундаментального естествознания. Критерии и методология верификации научных теорий утрачивают четкость, методология познания и построения теоретических концептов в естественных и гуманитарных науках конвергируют.

И наконец, для *культурологии* тот же самый риск не может возникнуть вне конкретного социального контекста, поскольку *любая система диагностики и определения величины риска вообще и «опасного знания» в частности преформируется личностными предпочтениями желательного или нежелательного будущего* [Douglas, Wildavsky, 1982; Яницкий, 1982]. Иными словами, для того чтобы осознать потенциальную угрозу, таящуюся в конкретном футурологическом сценарии, необходимо предварительно сопоставить его с некоей шкалой ценностных приоритетов, сделать выбор, что можно считать желательным развитием событий, что допустимым, а что неприемлемым. В современной социологии риска этот постулат наиболее последовательно обосновали М. Дуглас и А. Валдавски, в концепции которых социоэкологическая среда, принципы выбора и воспринимаящий и действующий субъект рассматриваются как дискретная целостная система ([Douglas, Wildavsky, 1982]: «Любая форма общества производит свой собственный взгляд на природную среду, который влияет на его выбор опасностей, заслуживающих внимания. Атрибуция ответственности за природные бедствия является нормальной стратегией защиты определенного набора ценностей, принадлежащего определенному образу жизни»).

В своей совокупности сочетание трех этих факторов резко усиливает роль науки, которая одна в состоянии дать нам ориентиры для оценки опасности собственных разработок, и, с другой стороны, в той же мере многократно интенсифицирует процесс политизации фундаментальной науки, повышает социополитический статус ученых-экспертов, но одновременно делает их крайне уязвимыми с точки зрения внешнего давления, деформирует и усложняет существующие системы верификации и фальсификации научных теорий. Политизация неизбежно приводит к «открытию границ» между наукой и псевдонаукой, объективное знание о мире и обществе становится трудно постигаемым и распространяемым. И для члена научного сообщества, и для «среднестатистического обывателя» все это — еще один стимул снижения престижности объективного научного знания и роста статуса альтернативных форм познания.

В рамках изложенного подхода *проблема «опасного знания» принципиально неразрешима ни в рамках собственно естествознания, ни в границах социогуманитарных наук, а только в результате системного анализа ситуации актуального или потенциального риска и синтеза двух когнитивных подходов — гуманитарного и естественно-научного.*

Генезис современной концепции «опасного знания» в западной рационалистической философии и социологии науки обычно связывают с именем американского онколога и философа Ронселера ван Поттера, посвятившего анализу этого феномена существенную часть своей книги «Биоэтика — мост в будущее» (1971). Сама проблема «опасного знания»

поставлена в философии (не говоря уже о религии и художественной литературе) значительно раньше появления книги Р. Поттера. Типичные примеры — рассказ Бредбери «И грянул гром» и романы Карела Чапека.

Ее истоки прослеживаются вплоть до библейских мотивов первородного греха, особенно в позднейшей, канонической для эпохи Средневековья интерпретации Блаженного Августина. «Мудрость лучше силы» [Екклесиаст, 9, 16], эта цитата из Екклесиаста лучше всего подчеркивает альтернативность Знания и Силы как ментальной доминанты традиционной культуры. В той же степени прослеживается здесь и этическая интерпретация знания (понимаемого не как чувственно-эмпирическое отображение объективной реальности, а постижение Божественного Откровения). Характерно, что речь идет не о собственно Знании, а именно о *мудрости*, т.е. умении воспользоваться знанием не во Зло, а во имя Добра. «Знание есть сила, но только в том единственном смысле, когда и сила тоже ведет к знанию», — поясняет Прокл в комментариях к диалогу Платона «Аливиад» [Лосев, 1988, 2004]. Зарождение техногенной цивилизации сопровождалось радикальным пересмотром взглядов на соотношение Силы, Добра и Знания. В мироощущении человека Запада место *мудрости* заступает объективная, безличностная *наука*, к которой оказываются неприменимыми этические приоритеты и категории — единственный источник силы и безопасности в равнодушном (а потому — враждебном) бушующем мире. «Нет никакой иной силы, кроме науки и знания, которая могла бы утвердить свою верховную власть над духом и душами людей», — излагает кредо новой стратегии человечества Френсис Бекон (1977).

Но, оказывается, биосфера — среда обитания *Homo sapiens* — ограничена в пространстве и времени. Риски и опасности, вытесненные за пределы «второй природы», не исчезают, они просто аккумулируются на грани между познанным и еще не познанным, меняя свою сущность. Если ранее их источником были природные стихии, то теперь — неполнота научных знаний, необходимость принимать решения и действовать в условиях неполной информации. Эта особенность техногенной цивилизации определяет две характерные черты западной ментальности, развивающиеся параллельно успехам человечества в его победоносной 300-летней войне за покорение природы посредством науки и технологии.

Первая из них состоит в отрицании гуманистических ценностей, провозглашенных в эпоху Возрождения. «В этом-то и заключается опасность Европы, — вместе со страхом перед человеком мы утратили и любовь к нему, уважение к нему, надежду на него, даже желание его. Вид человека утомляет... Нам надоел человек...», — так описал эту особенность духовной эволюции европейской культуры Фридрих Ницше [Ницше, 1990].

Вторую особенность западного менталитета описал очень рельефно Мартин Бубер (1999): «В Космосе Аристотеля реальный человек античности, как и реальный человек христианской эпохи в Космосе Аквината чувствуют себя как дома. Но для действительного человека Нового Времени мир так и не стал действительным миром». Таким образом, человек в макрокосме техногенной цивилизации чувствует себя достаточно неуютно, обреченным на постоянную борьбу за выживание с природой и с себе подобными.

Взаимосвязь развития науки и технологии с нарушением гармонии человека и природы, превращением ее во враждебную «окружающую среду» — один центральных, базисных мотивов романтической традиции. На наш взгляд, предельно отчетливо выразил эту ассоциацию Евгений Баратынский задолго до наступления века атома и эпохи генных технологий — в 1839 г.

*Пока человек естества не пытал,
Горнилом, весами и мерой,
Но детски вещаньям Природы внимал,
Ловил ее знаменья с Верой;
Покуда Природу любил он, она
Любовью ему отвечала...
.....
Но чувства презрев, он доверил уму;
Вдался в суету изысканий...
И сердце Природы закрылось ему,
И нет на земле прорицаний.*

(Баратынский Е., 1982).

И то, и другое, как мы видим, — плата за принятую человеком Запада стратегию выживания. Девиз этой стратегии, безусловно, лучше всего выражен Иваном Мичуриным: «Мы не можем ждать милости от природы, взять их — наша задача».

Социально-онтологическая природа «опасного знания» означает, в частности, что его эпистемологические и когнитивно-психологические аспекты есть производное этического и социопсихологического фундамента восприятия научно-технологического прогресса. В таком случае генезис «опасного знания» становится частью кризиса западной культуры и цивилизации — подобно тому, как процессы Джордано Бруно и Галилея — симптомами кризиса Средневековья, разрешившегося возникновением техногенной цивилизации.

Как социологическая или философски-историческая концепция идея закономерной, естественной смертности цивилизации кристаллизова-

лась в творчестве Дж. Вико (1668–1744) и впоследствии неоднократно высказывалась различными мыслителями, к числу которых в XIX столетии относятся, например, О. Шпенглер и А. Тойнби. Известный российско-украинский философ, оказавший заметное влияние на экзистенциалистское направление в философии — Николай Бердяев выдвигает в 1923 г. идею трансформации современной техногенной цивилизации в новую форму — «новое средневековье». Эта трансформация оказывается, по его мысли, равнозначной «переходу от рационализма новой истории к иррационализму или сверхрационализму средневекового типа». В концепции Бердяева такая трансформация — не закат цивилизации, но «ритмическая смена эпох», переход в новое эволюционное состояние, сопряженное с отказом от рационалистического материализма классической науки как основы мироощущения и мировосприятия [Бердяев, 1991]. В том же ключе высказывался и Питирим Сорокин несколько позже: «Мы как бы находимся между двумя эпохами: умирающей чувственной культурой нашего величественного вчера и грядущим идеациональным и идеалистическим создаваемым завтра» [Сорокин, 2000].

Вторая линия в генезисе той же традиции связана с теоретическим обобщением эмпирических данных экологии. К созданию таких обобщений оказались прежде всего способны биологи и естествоиспытатели, склонные к философскому обобщению и системному анализу, и философы, обладающие естественно-научной эрудицией.

«Народ рано или поздно съедает землю, если не перейдет от первобытного хищнического хозяйства к искусственному или рациональному... Медленно накапливающиеся изменения климата и почвы, заметные и прежде отдельным внимательным наблюдателям, достигли в настоящее время такой величины, которая бросается в глаза всем, кто переступает, так сказать, порог общественного сознания» [Соловьев, 1989], — писал В. Соловьев на пороге последнего века второго тысячелетия. Но наиболее глубоко проник в суть природы процессов, ведущих к системному, т.е. экологическому, кризису современной цивилизации, Владимир Вернадский, очевидно впервые со всей ясностью предупредивший о превращении Разума (а следовательно, науки и технологии) в глобальный фактор эволюции космического масштаба [Вернадский, 1977; Чешко и др., 2010].

Естественно, принятие концепции ноосферы влекло за собой очевидное следствие: в цивилизации, базисным принципом которой является преобразование природы, основанное на развитии науки и технологии, последние превращаются в существенный фактор социально-эволюционного риска, значение которого непрерывно возрастает. Однако, по справедливому замечанию российского социолога О.Н. Яницкого [Яницкий, 2003], по крайней мере до второй половины XX в. в социологии домини-

ровала парадигма, основополагающим принципом которой был постулат Э. Дюркгейма: «Социальные факты порождаются только социальными фактами». Осознание несовместимости этого утверждения с реалиями глобального экологического кризиса и превращением человека в объект генно-инженерного конструирования пришло позднее.

Уже цитировавшийся Николай Бердяев писал (1995): «Совершенно ошибочен взгляд прагматизма, что истина есть полезное для жизни. Истина может быть вредна для устройства обыденной жизни. Христианская Истина могла быть даже очень опасна, от нее могли рухнуть все государства и цивилизации. И потому чистая истина христианства была приспособлена к обыденной человеческой жизни и искажена, было исправлено дело Христа, как говорит Великий Инквизитор у Достоевского... На совершенно другом конце, в точных науках о природном мире, мы сейчас встречаемся с настоящей трагедией ученого. Физика и химия XX века делают великие открытия и приводят к головокружительным успехам техники. Но эти успехи ведут к истреблению жизни и подвергают опасности самое существование человеческой цивилизации... При ложном делении мира на две части, которое вызывает необыкновенную лживость, научные открытия и технические изобретения представляют страшную опасность...». Заметим, философ говорит не о *знании* (тем более, не о получаемом опытным путем научном знании), а об *истине*, даже о **Божественном Откровении**, придавая своим рефлексиям вселенское звучание.

Карл Ясперс однажды справедливо заметил, что страх перед наукой и вера в науку в массовом сознании тесно переплетаются и «подпитывают» друг друга, — наука из «аристократического занятия» отдельных личностей, «движимых желанием знать», превратилась в массовую профессию, социальная функция которой заключается в обеспечении человеку желаемого им образа жизни посредством технологии, опирающейся на научные знания. Это, в свою очередь, открыло дорогу трансформации науки в «суеверие», источником которого оказывается, как это ни парадоксально выглядит для повседневного «здорового смысла», прогресс естествознания (в данном контексте «*суеверие*» и «*ментальность*» оказываются, как мы увидим, до определенной степени терминами-синонимами).

Распространение в массовом сознании фрагментарных элементов научных знаний, не подкрепленное систематическим образованием, которое только и дает представление о методах и границах научного познания, порождает веру в «компетентность во всем, умение создавать и технически преодолевать любую трудность» [Ясперс К., 1994. С. 370]. Вера в безграничную способность науки произвольно менять существующую реальность имеет как позитивную (способность науки решить **любую**

проблему, вставшую перед конкретным социумом или человечеством в целом), так и негативную составляющую (страх перед внезапно вышедшими из-под контроля катастрофическими последствиями, возникшими в результате просчета экспертов).

Один из основоположников экзистенциализма Мартин Хайдеггер в середине 1950-х гг. отметил бесспорный факт — вследствие прогресса науки и технологии последних столетий происходит наиболее серьезный мировоззренческий и психологический переворот, равносильный совершенно новому положению человека в мире и по отношению к миру. Мир теперь представляется объектом, открытым для атак вычисляющей мысли, атак, перед которыми уже ничто не сможет устоять. «Во всех сферах своего бытия человек будет окружен все более плотно силами техники. Эти силы, которые повсюду ежеминутно требуют к себе человека, привязывают его к себе, тянут его за собой, осаждают его и навязываются ему под видом тех или иных технических приспособлений — эти силы давно уже переросли нашу волю и способность принимать решения, ибо не человек сотворил их», — резюмирует немецкий мыслитель. Первая фаза этого переворота связана с физикой, превратившей окружающий мир в «гигантскую бензоколонку», неисчерпаемый источник энергии. Вторая стадия — развитие биологии. Возникает впечатление, что автор в 1955 г. предвидит рождение спустя три десятилетия биотехнологии и те социальные проблемы, которые за этим последуют: «С помощью технических средств готовится наступление на жизнь и сущность человека, с которым не сравнится даже взрыв водородной бомбы. Так как даже если водородная бомба и не взорвется и жизнь людей на земле сохранится, все равно злое изменение мира неизбежно надвигается вместе с атомным веком. Страшно на самом деле не то, что мир становится полностью технизированным. Гораздо более жутким является то, что человек не подготовлен к этому изменению мира, что мы еще не способны встретить осмысляюще, мысля то, что в сущности лишь начинается в этом веке атома». Отказаться от технологии человечеству невозможно (М. Хайдеггер в этом пункте куда менее радикален, чем современные экстремистски настроенные защитники «экологии»). Но и искать выход в дальнейшем развитии науки и технологи, уповая на то, что научно-технический прогресс решит те самые проблемы, коллизии и кризисные явления, которые он порождает, также бесперспективно, равно как наложение на техногенез внешних ограничителей. Развитие ситуации требует весьма серьезных изменений собственно в философии и стратегии отношений человека и созданной им технологии: «Мы можем пользоваться техническими средствами, оставаясь при этом свободными от них, так что мы сможем отказаться от них в любой момент. Мы можем использовать эти приспособления так, как их и нужно использовать, но при этом оставить их в по-

кое как то, что на самом деле не имеет отношения к нашей сущности. Мы можем сказать “да” неизбежному использованию технических средств и одновременно сказать “нет”, поскольку мы запретим им затребовать нас и таким образом извращать, сбивать с толку и опустошать нашу сущность» [Хайдеггер, 1997].

«Глубокий парадокс феномена знания, — развивает Ганс Йонас [Йонас, 1999] идею М. Хайдеггера, — что оно приводит не только к “власти” над природой (т.е. все более мощному ее использованию), но и к всецелому господству над самим собой. Власть превратилась в рабу самой себя, в то время как ее обещания — в угрозу, а счастливые перспективы — в апокалиптику». Именно этим обосновывается онтологическая природа феномена «опасного знания», вытекающая из самого способа существования техногенной цивилизации. «Опасное знание» есть оборотная сторона научно-технологического прогресса, и жизнеспособное общество вынуждено обзавестись социальным механизмом саморегуляции социальных функций развития этих сфер собственной жизни.

В качестве идеологии и концептуальной основы такого механизма Г. Йонас предлагает «эвристику страха», а руководящий принцип последней формулирует так: «Чего мы не хотим, мы знаем лучше, чем то, чего хотим. Поэтому философия морали должна сначала просить совета у наших страхов, а не у наших желаний, чтобы узнать, что мы на самом деле ценим». Сказанное не означает, что превращение современной науки в «опасное знание» ставит под вопрос ее положение как центрального элемента стратегии выживания человечества этом мире. Речь идет только об изменении отношений и характера коммуникативных связей социального института науки в системе современной цивилизации. «Страх за человека не должен вызывать враждебности к этому источнику угрозы для человека, к науке и технике. Страх должен побуждать нас к осмотрительности в использовании нашей мощи, но не к отказу от нее. Ибо лишь в союзе с наукой и техникой, принадлежащими к делу человечества, нравственный разум в состоянии этому делу послужить. Никакого однозначного рецепта на этот счет не существует, есть лишь множество подлежащих сравнению путей, которые следует отыскивать все снова и снова для каждого конкретного случая ныне и в будущем, постоянно храня бдительность. В лучшем случае при постоянном повторении может выработаться соответствующий навык. На это следует надеяться. И все же долг мышления — побудить нас к бдительности», — утверждает Г. Йонас [Jonas, 1987; Йонас, 1999].

Никлас Луман в одной из своих работ, подвергая семантическому анализу понятийно-категориальный аппарат теории *риска*, пришел к выводу, что из двух пар бинарных оппозиций-альтернатив — риск/надежность и риск/опасность более содержательной, обладающей большим эвристи-

ческим потенциалом, является последняя. В конечном итоге «любой вариант некоего репертуара решений, т.е. вся область альтернатив, является рискованной — пусть даже риск состоит только в том, что не будут восприняты достаточно явные шансы, которые в будущем, возможно, окажутся благоприятными» [Луман, 1994]. Поэтому надежность как альтернатива риску оказывается бессодержательным понятием, «подобно понятию здоровья в различении больной/здоровый» [Луман, 1994]: нельзя с должной достоверностью идентифицировать достижение надежности. (Развивая эту мысль Лумана далее, можно констатировать: *надежность* есть логико-математическая абстракция, недостижимый предел, к которому стремится человек, принимая решение в условиях неполноты объективной информации, тогда как *риск* — неизбежный атрибут всякой человеческой деятельности или уклонения от активного деяния — всегда конкретен, хотя и нагружен неустранимой аксиологической компонентой.)

В противоположность этому в оппозиции риск/опасность первый член этой пары отражает некие внутренние характеристики поведения целесообразно действующего субъекта («вменяется решению», «рассматривается как следствие решения»), тогда как второй (*опасность*) — имеет внешний, объективный источник («вменяется окружающему миру»).

Переход техногенной цивилизации в фазу «общества риска» означает, следовательно, изменение ментальных доминант — стимулов человеческого поведения. *Опасность*, исходящая от природных стихий, вытесняется в сознании *риском*, проистекающим из целесообразной деятельности. Но если источником риска становится человеческая природа («гены»), сам риск утрачивает рациональность. Он становится непостижимым и непреодолимым не только как методологическая абстракция, но и в своих конкретных проявлениях. В этом случае элиминация риска означает изменение биосоциальной основы человечества — конкретного носителя Разума и Культуры во Вселенной.

«Конфликт с самим собой» — слишком мощный фактор психологического стресса для носителей ментальности современной западной цивилизации. «Опасное знание» представляет в не меньшей степени угрозу деструкции стабильно адаптивной стратегии того же самого типа цивилизации, но (парадокс!) — более соответствует ее концептуальному ядру. Ответственность за ущерб вновь оказывается вне личности — перекладывается на науку, технологию, власть, бизнес, общество. Отчуждение природы в XIX в. сменяется отчуждением экономики, государства, а спустя еще 100 лет к ним прибавились научное познание и технология. В терминах социальной экологии — нарастает процесс дезинтеграции единой системы коэволюционных отношений.

И действительно, страх перед неконтролируемыми последствиями таких генетических манипуляций («комплекс Франкенштейна») проник

в менталитет задолго до возникновения самой генетики, найдя свое художественное отображение и в знаменитой повести Мери Шелли («Франкенштейн, или Современный Прометей»), написанной еще в 1817 г., и в «Острове доктора Моро» Герберта Уэллса. Но осознание интегрированности человека в глобальную экологическую систему биосферы стало узлом, в котором пересеклись восприятие глобальных последствий развития генетики с точки зрения создания новых сортов, пород, штаммов организмов, продуктов питания, физиологически активных веществ и предметов потребления, с одной стороны, и возможностей произвольных и случайных генетических манипуляций геномом человека — с другой. Как ответная реакция предлагается «предельный переход», трансформация этических ценностей и норм из внешних ограничителей, канализирующих научные исследования и их технологическое использование, в имманентные факторы, определяющие сам характер дальнейшего развития фундаментальной науки и технологических разработок. Подробнее об этике ответственности, создаваемой западно-европейской (прежде всего немецкой) философской традицией, см.: [Ермоленко, 1994; Ермоленко, 1999].

Цитированные здесь авторы принадлежат экзистенциалистской философской традиции. Это, пожалуй, не случайно. Для экзистенциализма действительно характерно обостренное ощущение человеческого бытия, не допускающего вербально-понятийного выражения, из которого вытекает понимание основной проблемы философии как вопроса об онтологической сущности человека в соотношении с остальными началами Космоса. В западноевропейской экологической философии страх перед возможностью вторжения генетических манипуляций в повседневную жизнь считается проявлением социальной адаптации, сигналом возрастающей сложности и потенциальной опасности систем, используемых человечеством. Восприятие социальных последствий развития науки и новых технологий приобретает онтологическое значение, становится эвристическим инструментом футурологического прогноза. Циркулирующие в средствах массовой информации и уже становящиеся элементом ментальности социотехнические мифы, касающиеся риска, проистекающего от использования генных технологий, составляют ее (ментальности) поверхностный слой, выявляемый в результате анализа социальных причин, породивших подобные мифы.

В общем виде эта проблема проанализирована в цикле работ харьковского философа А. Т. Щедрина [Щедрин, 2003]; конкретно научные и социологические аспекты этой проблемы см. интересный доклад чешского специалиста M. Velcev [Velcev, 2001].

Более глубинный слой оказывается связанным прежде всего с долговременными прогностическими возможностями «эвристики страха».

Российский философ В.С. Степин (1992; 2000) приходит к выводу, что соблазн «планомерного» генетического совершенствования природой созданного «антропологического материала», приспособления его к новым социальным нагрузкам чреват необратимым разрывом истории человеческой цивилизации. Человеческая культура, продолжает он, глубоко связана с человеческой телесностью и первичным эмоциональным строем, который ею продиктован, существующей в настоящее время генетической конституцией — результатом предшествующей биологической эволюции. Для разумных существ, возникших в ходе, пусть и планомерной, генетико-социальной революции, «уже не имеет смысла ни Байрон, ни Шекспир, ни Пушкин, для них выпадут целые пласты человеческой культуры. Биологические предпосылки — это не просто нейтральный фон социального бытия, это почва, на которой выростала человеческая культура и вне которой невозможны были бы состояния человеческой духовности».

Альтернативный взгляд (с которым полемизируют Н. Бердяев и М. Хайдеггер) восходит к прагматизму Джона Дьюи, полагавшего, что наука есть прежде всего средство решения проблем, возникающих перед человеком в ходе социального опыта, а научные идеи, понятия, теории есть интеллектуальный инструмент, позволяющий достичь указанной цели. Основная задача научного исследования и новых технологий, созданных в результате, заключается в том, чтобы предложить такие средства и способы решения проблемы, которые будут адекватны поставленной цели. Несоблюдение этого условия порождает новые проблемы. В таком случае нежелательные последствия научного и технологического прогресса действительно могут быть устранены лишь в результате дальнейшего развития науки и создания новых технологий.

В этом духе был составлен подготовленный при участии Дж. Дьюи «Гуманистический манифест», опубликованный в 1932 г. С тех пор подобные документы стали традицией. Второй манифест был опубликован в 1973 г., в 1980 г. появилась Декларация светского гуманизма, а в 1988 г. — Декларация взаимной зависимости. Последний такой документ написан в 2000 г. президентом Международной академии гуманизма Полем Куртцем, заявившим о целях этой акции: «Поскольку мы вступаем в новое тысячелетие, мы не должны беспокоиться об Армагеддоне, но скорее должны раскрыть огромные потенциалы человеческого прогресса в следующем столетии и далее». «Гуманистический манифест 2000», подписанный к 6 мая 2003 г. 136 представителями интеллектуальной элиты из 29 стран, в том числе 10 нобелевскими лауреатами, в частности, констатирует очевидную истину: «Впервые в истории человечества мы обладаем средствами — и этим мы обязаны науке и технике — способными улучшить условия существования человека, приблизить его счастье и сво-

боду, обеспечить на планете достойную жизнь для всех людей. Однако сердца многих преисполнены страха, когда они думают о наступлении следующего тысячелетия... К разочарованию тех, кто склонен замечать только худшее, материальное процветание, мир, улучшившееся здоровье и возросший жизненный уровень являются реальностью — и весьма вероятно, что так пойдет и дальше. В этих великих технических, научных и социальных достижениях зачастую не отдают себе отчета. Хотя плодами этих достижений пользуются в основном экономически развитые страны, их польза фактически ощущается повсюду». Однако и в этом изначально оптимистическом по своей методологии документе также констатируется разрыв между декларируемыми гуманистическими идеалами и реальностью, чреватой дегуманизацией будущего нашей цивилизации: «Направление технологических разработок чаще всего определяется либо чисто экономическими соображениями (если продукция обещает прибыль), либо военными или политическими целями. Существует огромная опасность, связанная с бесконтрольным использованием технологий. Мировое сообщество все еще не располагает эффективной властью над оружием массового уничтожения (термоядерным, биологическим и химическим). Сходным образом многие крупные достижения в генетике, биологии и медицине (такие как биогенетическая инженерия, клонирование, трансплантация органов и другие) заключают в себе реальную опасность, хотя и открывают огромные возможности в деле улучшения здоровья и благосостояния человека» [Гуманистический манифест 2000 // Credo. Теоретич. философ. журн. 2000. № 2 (20); [http:// www.orenburg.ru/culture/credo/20/manifest](http://www.orenburg.ru/culture/credo/20/manifest)].

В концепции развития цивилизации Элвина Тоффлера аграрная и индустриальная фазы ее эволюции («первая и вторая волна») сменяются с середины 1950-х гг. так называемой третьей волной. Развитие генетической инженерии, компьютерно-информационных технологий, транспорта (добавим — технологий психосоматического манипулирования), в свою очередь, становится системным формообразующим фактором преобразования менталитета, образа жизни, семейных и личностных отношений, стиля работы, экономики т.д. и т.п. Инициатором и катализатором преодоления пороков техногенной цивилизации выступают, по Тоффлеру, развитие науки и технологии. Парадигмой «цивилизации третьей волны» должны стать «гуманная технология», сменяющая парадигму «господства над природой». Но характерно: генезис «третьей волны» в этой концепции есть кумулятивный процесс взаимодействия новых технологий и социально-политических движений алармистов и критиков («технореволюционеров» — по терминологии Э. Тоффлера), препятствующих их неограниченной экспансии. «Признают они это или нет, но технореволюционеры являются агентами Третьей волны, — писал

Э. Тоффлер (1999). — В последующие годы они не только не исчезнут, но их численность возрастет. Они такая же часть нашего перехода на новую ступень цивилизации, как и наши экспедиции к Венере, наши удивительные компьютеры, наши открытия в области биологии, наши исследования глубин океана. Из их конфликта с фантазерами, приверженцами Первой волны и защитниками Второй волны, провозглашающими, что технология превыше всего, появятся “умные”, тонкие технологии, соответствующие новой энергосберегающей энергетической системе, к которой мы начинаем переходить. Соединение новых технологий с новой энергетической базой поднимет всю нашу цивилизацию на совершенно иной уровень. Сердцем этой цивилизации станут умные, научно обоснованные, крупнопоточные предприятия, действующие под жестким экологическим и социальным контролем, а также “умные” малопоточные предприятия, действующие в меньшем, более “очеловеченном” масштабе». Итак, с позиций прагматизма и технологического детерминизма научно-технологическое развитие само по себе не способно обеспечить решения глобальных проблем, устойчивую канализированную эволюцию человечества при сохранении гуманистического базиса человеческой культуры. Изолированный научно-технологический прогресс без социокультурных «предохранителей» и корректировщиков (которыми и выступают «алармисты» различного рода) оказывается скорее дестабилизирующим фактором. Устойчивость социуму придает сопряжение противоположно направленных тенденций и процессов, образующих в совокупности единую систему социального гомеостаза.

Итак, феномен «опасного знания» существует, как существуют причины, его породившие, и коллизии, этические дилеммы, конфликты и социальные риски, являющиеся его следствием. Следовательно, существует и необходимость его исследования.

В современной философии и социологии генерация в ходе развития науки и технологии новых социальных рисков обычно исследуется прежде всего в аспекте социальной философии, политологии, экономической теории. Такой взгляд на проблему можно охарактеризовать как экстернальный по отношению к собственно науке — исходной точкой подобного исследования становится категория *риска*. В настоящей работе предпринимается попытка взглянуть на эту ситуацию в ином — интернальном — ракурсе, т.е. с позиций эволюционной эпистемологии. За исходное будет взято понятие *опасного знания*. Таким образом, предметом исследования будет влияние неустранимой субъективно-аксиологической компоненты научных теорий и методов исследования (а не только создаваемых на их основе технологий) на выполнение наукой своей основной социальной функции — производства объективных знаний о мире и человеке.

В работе достаточно широко будет использован конкретно-научный материал из области генетики и генных технологий и его отображение в ментальности и общественном сознании. Причины этого, на взгляд автора, очевидны и не требуют особой аргументации. Эта область естествознания по силе социокультурного воздействия, энергии общественного резонанса и потенциальному влиянию на судьбы человечества сейчас, безусловно, не имеет аналогов. В конце концов, ядерная физика продемонстрировала нам потенциальную возможность *физического* самоуничтожения разумной жизни во Вселенной. Современная генная технология обещает дать в руки человеку инструмент преобразования того биологического фундамента, на котором построено здание современной Цивилизации. Разумная жизнь при этом, скорее всего, не только уцелеет, несмотря на все возможные катаклизмы — природные и техногенные, но и увеличит свое могущество. Вот только уцелеет ли при этом сам Человек? Не станут ли наши отдаленные потомки рассматривать нас с тем же отстраненным холодным любопытством и непониманием, с которым мы рассматриваем экспонаты палеонтологического музея или роботов, созданных для съемок «Парка Юрского периода»?

БИОВЛАСТЬ И БИОПОЛИТИКА

Со времени Мишеля Фуко в обиход культурологии вошло понятие *биовласть*. Широкое распространение оно получило в последнее десятилетие XX в. в едином комплексе с биополитикой, биоэтикой, биотехнологией и биомедициной. Серьезный культурологический и философский анализ его предпринял вслед за Фуко, но уже на современном материале российский философ Павел Тищенко (2001, 2013).

Смысл понятия «биовласть» еще не устоялся, не обрел логической однозначности. Однако сейчас уже можно говорить, что его суть составляет явная или неявная способность социума и его властных структур нормировать и регулировать биологические отправления отдельных индивидуумов. Как писал исследователь творчества М. Фуко В.А. Подорога, зарождение и развитие феномена биовласти происходит там и тогда, когда и где в социальной истории впервые появляется интерес к политическому использованию человеческого тела, где оно обособляется в роли индивидуализированного объекта надзора, тренировки, обучения и наказания [Подорога, 1989]. Таким образом, *власть* связана с биовластью генетической преемственностью, ведет свое происхождение от нее. «Точкой приложения» власти является не психика, а психосоматическое бытие человека, и современная наука и технология существенно расширяют масштабы и глубину такого воздействия.

В период Средневековья утверждается дихотомия власти на духовную и светскую, и последняя принимает форму «власти над смертью» [Фуко, 1996]. Санкционированная властями предержавными насильственная смерть совершается с поразительной по нынешним этическим стандартам легкостью и по самым ничтожным с современной точки зрения поводам. Мера и символ светской власти тогда — размер виселицы [Кожурин, 2001].

Возрождение и индустриальная фаза развития западной цивилизации вновь изменяют структуру биовласти. Наука сакрализуется и претендует на объединение обеих ветвей власти. Власть над смертью ограничивается по масштабам и постепенно вытесняется властью над соматическим бытием человека, а последняя принимает последовательно формы контроля над репродукцией, внешним обликом и внутренней организацией человеческого организма, его генетической конституцией.

Символами «репродуктивной фазы» генезиса биовласти можно считать Томаса Мальтуса и Френсиса Гальтона с их идеями контроля рожда-

емости различных социальных слоев в зависимости от экономического или интеллектуального статуса. Однако евгеническая концепция Фр. Гальтона (1875) в интеллектуальной истории биовласти перебрасывает мост к ее нынешней — генно-технологической фазе. Мы вернемся к этому несколько позже.

Степень влияния биовласти на самом деле весьма значительна, и в целом это влияние способствует расхождению векторов биологической и социокультурной составляющих эволюции человечества. Вероятно, первым обратил на это внимание среди западных мыслителей Фридрих Ницше. Он акцентировал внимание на том, что власть и культура предоставляют преимущество в борьбе за жизнь биологически слабым индивидуумам и подавляют сильных. Становясь элементом культуры, власть извращает процесс естественного отбора, его исход становится «обратным тому, которого хочет школа Дарвина, ... победа не на стороне сильных... Подбор (в человеческом обществе) основан не на (биологическом) совершенстве: слабые всегда будут снова господами сильных, благодаря тому, что они составляют большинство, и при этом они умные... Дарвин забыл о духовной стороне — слабые богаче духом... Чтобы стать сильным духом, надо нуждаться в этом; тот, на чьей стороне сила, не заботится о духе» [Ницше, 1990]. Возникновение сверхчеловека, стоящего «по ту сторону добра и зла», т.е. вне морали, является, согласно Ницше, необходимым условием разрушения этой самовоспроизводящейся системы, в его понимании — возвратом к природе.

Оценка концепции и методологии Фридриха Ницше в эпоху постмодерна на территории постсоветского политического пространства претерпевает серьезную эволюцию, именно в соответствии с новыми реалиями, порожденными информационными и генетическими технологиями. «Ницше недоволен сложившейся системой власти. Он описывает ее эволюцию как переход от власти сильных к власти слабых. Он критикует ее за то, что она ведет к деградации людей. Так он переходит к «физиологической критике» современной цивилизации. Непонимание ее особенностей у Ницше вызывало упреки в расизме. Действительно, вопрос состоит вот в чем: Платон и Ницше осознали бессилие дискурсивных практик перед телесными — будь то генетические изменения или дисциплинарные практики культуры» [Марков, 2002].

Конец XIX — начало XX в. было временем необычайной популярности попыток решения этой коллизии с помощью теоретической и технологической базы естествознания. В конечном счете все они предполагали усиление прямого влияния биовласти на «репродуктивный выбор», т.е. в конечном счете — на одну из наиболее интимных сфер соматического бытия человеческого существа. Наметился конфликт биовласти с другой базисной доминантой западного мышления — доктриной естественных прав

человека. Для древнего человека чувство тождественности со всеми представителями той же родоплеменной общности являлось безальтернативной ментальной доминантой. Для человека современной западной — техногенной — цивилизации мощным конкурентом доминанты родовой предетерминации выступает примат свободы собственного «Эго».

«Современный человек дорожит своим Я, которое понимает как нечто уникальное и незаменимое. Самое страшное для него узнать, что он является отпечатком другого. Но такое определение Я не является продуктом философской рефлексии, оно выдвинуто временем автономизации и конкуренции...», — очень удачно сформулировал эту особенность ментальности индивидуалистического мышления Борис Марков (1997). Наиболее нетерпимым для современного человека есть ощущение постороннего вмешательства в саморазвитие своей личности. Именно этим объясняется, очевидно, экстремально негативистское восприятие развития технологии клонирования человеческого организма. Данная технология в чисто техническом смысле — далеко не самая опасная по потенциальным масштабам преобразования генома и, по крайней мере, не самая перспективная с точки зрения возможности крупномасштабного массового повседневного использования.

Наслоение обоих ментальных «архетипов» служит источником одного из основных биополитических конфликтов современности. Ядро этого конфликта составляет ощущение запрограммированности собственной судьбы. Эта запрограммированность одновременно внутренняя (по отношению к соматическому бытию человека, ибо проистекает из свойств его собственного генома) и внешняя (по отношению к духовному бытию, «душе»). Во времена Зигмунда Фрейда источник программирующих импульсов относили к сфере бессознательного. В этом смысле последовательное применение генно-репродуктивных технологий и других средств актуализации биополитических проектов преобразования генетико-соматической основы человека локализуется между двумя вариантами — «Франкенштейном» Мери Шелли и «Доктором Джекилом и доктором Хайдом» Роберта Стивенсона. Если говорить об образе продукта практической генетической технологии человека в массовом сознании, то лучше всего он соответствует модели «бомба с часовым механизмом». Этот механизм приводится в действие (опять-таки — в массовом сознании) по неведению, неосторожности или преднамеренно.

Назовем еще два «архетипа» западной ментальности, определяющих результирующий вектор развития биовласти. Первый из них — вера в магическую силу, которую дает ее обладателю знание подлинного имени другого лица или персонифицированной природной стихии. Второй — восприятие природы как некоего текста, в котором закодирован замысел Божий. (Отсюда попытки «извлечь» из ДНК текст Библии, музыкальную

симфонию и т.д. и т.п.) Поэтому декодирование и интерпретация любой информации, касающейся нынешнего состояния или будущего конкретной личности в результате психологических тестов или генодиагностики, истолковываются как посягательство на ее социальную автономию, достоинство и идентичность. С действием всех рассмотренных здесь структур менталитета современного человека западной цивилизации мы еще столкнемся впоследствии — в ходе исследования «эволюционного ландшафта» взаимоотношений современной науки и социума.

Последовавшее после и в результате Второй мировой войны и закрепленное Нюрнбергским кодексом сужение сферы прямого нормативного действия биовласти изменило ее форму, но не эффективность. Косвенное, опосредованное через систему научно обоснованных и подкрепленных авторитетом органов власти рекомендаций и советов, влияние биовласти оказалось даже более результативным и не менее мощным, чем ранее. В своей жестко полемической книге «Забыть Фуко» (1977) другой французский философ, Жан Бодрийар, тем не менее, отмечает программирующее влияние современной власти вообще и биовласти в частности на процесс становления человека как биосоциального существа: «Власть у Фуко функционирует так же, как генетический код у Монода, — согласно диаграмме дисперсии и управления (ДНК) и согласно телеономическому порядку. Имеется в виду французский генетик и микробиолог, лауреат Нобелевской премии Жак Л. Моно (J.L. Monod), разработавший вместе с Ф. Жакобом и А. Львовым общую схему регуляции считывания генетической информации с бактериальной хромосомы. В основе схемы лежит контур с отрицательной обратной связью между концентрацией продуктов активности гена и изменениями во внутриклеточной среде, вызываемыми ими. Считается, что этот механизм обеспечивает постоянство внутриклеточных параметров и обеспечивает нормальное (телеономическое — по терминологии Ж. Бодрийара) течение индивидуального развития организма независимо от изменений внешней среды.

Конец теологической власти, да здравствует телеономическая власть! Телеономия означает конец всякого окончательного определения и всякой диалектики: это что-то вроде имманентной, неотвратимой, всегда позитивной, кодовой записи программы развития, оставляющей место только бесконечно малым мутациям» [Бодрийар, 2000].

Итак, внешне в современной техногенной цивилизации статус биовласти заметно снижается, ее влияние ослабевает. Ж. Бодрийар рассматривает эти симптомы как проявления общего цивилизационного кризиса. Эффективность социополитического контроля экономики, политики, массмедиа и т.д. и т.п. уменьшилась, и этот процесс продолжается в том же направлении. Ослабевает величина и сужается сфера применимости нормативно-законодательного регулирования формы и содержания способов

отправления основных биологических функций индивида [Бодрийар, 2000]. Пожалуй, одним из наиболее четких и выпуклых проявлений этого процесса становится эволюция отношения к сексуальным меньшинствам. Оно изменилось от жестко репрессивного, минуя безразличное, к повышенно заинтересованному и сочувственному. Кстатi, этот же факт демонстрирует и дисгармонию генетико-биологического и социокультурного компонентов соматического бытия *Homo sapiens*. Давление естественного отбора в пределах эволюционно-биологической нормы (т.е. вне социокультурного контекста) против генов гомосексуальности настолько велико, что адекватная реакция на их внешние проявления должна была заключаться в полном безразличии. Другое дело, что в действительности проявления этих наследственных детерминантов (у человека, а не плодовой мушки) как раз в сильнейшей степени зависят от факторов среды. Таким образом, нынешняя повышенная популярность темы сексуальных меньшинств так или иначе представляется иррациональной стратегией с точки зрения репродуктивного потенциала. Если гомосексуальность — жестко запрограммированный наследственный признак, она не будет иметь последствий; иначе же — безусловно вредна.

Биовласть коммерциализуется. Реклама делает акцент на научном обосновании предлагаемых товаров и услуг. Парадокс заключается в том, что конкурирующие фирмы равноубедительно отстаивают научную состоятельность свою и несостоятельность соперника.

Итак, в современных условиях биовласть приобретает новые черты:

- утрата или ослабление прямого воздействия через законодательно-нормативную базу в том, что касается запретов и ограничений в отпавлении биологических функций отдельным индивидом;
- возрастание значения косвенного — через общественное мнение, этические нормы, рекламу, рекомендации специалистов и т.п. влияния на индивида;
- опосредованный научной объективностью и технологической целесообразностью механизм воздействия;
- коммерциализация конкретных проявлений.

П. Тищенко в уже цитировавшейся книге приводит несколько шаржированный вариант массовой, основанной на медицинском фольклоре технологии производства самоидентичности человека. Эта технология представляет собой нескончаемую цепочку ритуально повторяемых элементарных поведенческих блоков «стимул — реакция»: «С вечера завел будильник, чтобы проснуться; утром — вымыл руки мылом “сейфгард”, чтобы убить микробов; почистил зубы пастой “блендамед”, чтобы предотвратить кариес; принял душ и вымыл голову шампунем “Head and Shoulders” от перхоти; выпил кофе, чтобы стимулировать себя; выкурил сигарету, чтобы прочистить мозги; потом жевал жвачку, чтобы отбелить зубы,

избавиться от дурного запаха изо рта и уберечься от кариеса; перед работой выпил транквилизатор от стресса, валокордин от сердца, гастрофарм от желудка, анальгин от головы. Днем на работе — пил кофе, чтоб взбодриться; курил, чтоб прочистить мозги; жевал диол от кариеса и дурного запаха изо рта; пил таблетки от желудка и головы; мыл руки и т.д. Вечером — принял водки, чтобы расслабиться и встряхнуться; транквилизатор, чтобы успокоиться; кофе, чтобы взбодриться; препарат виагра для повышения потенции, на ночь — снотворные, чтобы уснуть, и поставил будильник, чтоб проснуться» [Тищенко, 2001].

Как итог нашего сравнительно-исторического анализа: биовласть в эпоху генных технологий, изменив форму, становится тотальной по существу. Она не противостоит конкретному индивиду и не поддерживает его, она окружает и пронизывает соматическое бытие в главном и в мелочах. Она принимает на себя функции социоэкологической среды, предопределяя стратегию поведения в этом мире.

К этому выводу в различной форме и с различных исходных позиций приходят сейчас многие исследователи — как философы, так и социологи. В своем недавно переведенном исследовании возникающего на рубеже III тысячелетия нового, транснационального политического порядка Майкл Хардт и Антонио Негри характеризуют его как новую «империю», не имеющую национального центра кристаллизации. И уже на первых страницах своей книги в качестве одного из основных атрибутов формирующейся глобальной политической системы они указывают «парадигмальный характер биовласти» [Хардт, Негри, 2004]. Биовласть становится элементом производственного процесса, обеспечивая его самовосстановление и воспроизводство.

Не следует преувеличивать новизну и оригинальность этого вывода. На самом деле к концу XX в. это умозаключение можно считать констатацией очевидного. Как пишет И.В. Нежинский, уже «согласно Фуко, власть, постепенно расплываясь и “дробясь”, со временем “растворяется” в социальном бессознательном, приобретая чисто манипулятивный характер и беря под свой контроль все сферы социального существования. Более того, власть начинает контролировать насущные потребности человека, формируя его социальный и даже телесный облик. Эта “биовласть”, однако, оказывается как бы и не заметной на первый взгляд; манипулятивная машина работает почти бесшумно (во всяком случае, пока есть соответствующая финансовая “смазка” и энергетическая подпитка от электората), однако результаты ее работы вполне очевидны. В конечном итоге, в недрах социального бессознательного возникают механизмы тотального контроля потребностей» [Нежинский, <http://fourthway.narod.ru/lib/exlib/tke.htm>].

Итак, биовласть отнюдь не всегда юридически формализована. Более того, само ее существование зачастую публично отрицается. Но, тем

не менее, значение этого фактора столь велико, что Павел Тищенко имеет основание заявить о превращении человеческой телесности из объекта живой природы в «артефакт», продукт социальной и научно-технологической эволюции [Тищенко, 2001].

Вероятно, российский философ выявляет здесь некий глубинный конструктивный элемент ментальности современного человека Запада. По крайней мере, свидетельство этому — «интеллектуальный резонанс», в который попадает логическая конструкция Павла Тищенко и аналогичные выводы молодого харьковского философа Лидии Газнюк: «Тело становится артефактом соматического бытия. Оно занимает свое социокультурное пространство рядом с другими физическими объектами, созданными человеческими руками, индустрией по производству и тиражированию необходимого телесного облика». И далее: «Процесс вхождения общества в индивидуум продолжается и после рождения, общество входит в его тело не только генетически, но и социотехнически» [Газнюк, 2003]. Последнее выражение («социотехнически») подчеркивает важное обстоятельство: превращение соматического бытия человека в продукт культуры («артефакт» — по терминологии П. Тищенко) все в большей мере перестает быть результатом спонтанного влияния культурно- и социоэкологической среды и все в большей степени — следствием целенаправленного, рационалистического (технологического) самоконструирования. Это совпадение при всем своеобразии и индивидуальности способов вербального выражения идей обоих исследователей само по себе достаточно красноречиво.

Инициация этого процесса связана с генезисом рыночной экономики. Идеи П. Тищенко и Л. Газнюк, очевидно, восходят к размышлениям Эриха Фромма, отметившего превращение человеческой телесности, самого биологического субстрата индивидуума в объект рыночных отношений. «Рынок предъявляет к индивидууму определенные, особые требования, сознательно или неосознанно самоконфигурировать психосоматическую основу собственной личности, придавая ей, так сказать, товарный вид». Критерием отбора в конкурентной борьбе на рынке труда на стадии развитой техногенной цивилизации становится способность к быстрой ментальной адаптации индивидуума к требованиям современных технологий. «Успех зависит, в значительной мере, от того, насколько хорошо человек умеет продать себя на рынке, насколько интересной является его “упаковка”, насколько она “бодрая”, “крепкая”, “энергичная”... Ты воспринимаешь себя как товар, или, точнее, и как продавца, и как товар одновременно» [Фромм, 1992].

Уточним вывод П. Тищенко и Л. Газнюк о социокультурной обусловленности соматического бытия человека. Целостность человеческой личности возникает благодаря интеграции двух ее ипостасей. С одной стороны, соматическое бытие человека есть эволюционно-генетический

факт, с другой — в силу глубокого и масштабного воздействия социума и культуры на психосоматику индивидуума — социокультурный артефакт.

Возможности социокультурной реконструкции генетически запрограммированной нормы реакции далеко не беспредельны. Об этом, в частности, свидетельствуют провал попыток чисто социокультурной коррекции и преобразования альтернативных модусов гендерного поведения индивидуума.

В качестве иллюстрации расскажем одну историю. «В своей книге “Как он создан природой” журналист Джон Колапинто рассказывает душераздирающую историю мальчика по имени Дэвид Реймер, которому выпало двойное несчастье — в младенчестве при неудачном обрезании ему случайно прижгли пенис, а затем он попал в руки к Джону Мани, известному сексологу из Университета Джона Хопкинса. Мани занимал крайнюю позицию в извечном споре сторонников природы и воспитания, утверждая, что половая идентичность не дана от природы, а конструируется уже после рождения. Дэвид Реймер предоставил Мани возможность проверить свою теорию, поскольку он был одним из пары монозиготных близнецов, и следовательно, его можно было сравнивать с генетически идентичным братом. После неудачного обрезания Мани кастрировал мальчика и воспитывал его как девочку по имени Бренда. Жизнь Бренды превратилась в кошмар: что бы ни говорили ей родители и Мани, она знала, что она не девочка, а мальчик. С раннего возраста она хотела мочиться не сидя, а стоя. Позже, когда ее записали в отряд девочек-скаутов, Бренда впала в отчаяние. “Я плел гирлянды из цветов и думал — если ничего интереснее у девочек-скаутов нет, то дело плохо, — вспоминает Дэвид. — Я постоянно думал о том, как весело моему брату в отряде мальчиков”. Получая кукол в подарок на Рождество и дни рождения, Бренда попросту отказывалась с ними играть. “Что можно сделать с куклой?” — говорит Дэвид теперь, и в его голосе слышна тогдашняя тоска. “Смотришь на нее. Одеваешь. Раздеваешь. Причесываешь. Какая скука! А на машине можно куда-нибудь поехать, во всякие новые места. Мне хотелось машин”. Попытка создать новую половую идентичность привела к таким эмоциональным разрушениям, что Бренда, едва достигнув половой зрелости, немедленно порвала с Мани и сменила пол с помощью операции по восстановлению пениса. Сегодня Дэвид Реймер, насколько известно, счастливо женат» [Colapinto, 2000; Fukuyama, 2002]. Эта история, однако, так и не получила счастливого завершения. Брак Реймера распался, он сам в 2004 г. совершил акт суицида. Наличие у Дэвида брата-близнеца, впоследствии страдавшего шизофренией и скончавшегося в результате передозировки антидепрессантов, еще более запутало ситуацию. Оно породило слухи, что возможность «идеального» с точки зрения генетики контроля при проведении исследований и была одним из главных мотивов

выбора врачом схемы социальной адаптации путем смены стереотипов сексуального поведения на альтернативные [Чешко, 2012].

Но справедливо и обратное утверждение: «Современную общественную жизнь нельзя представить без изменений психосоматического уровня исторического бытия», — констатирует Л. Газнюк (2003). Отношения двух составляющих эволюции человека — генетической и социокультурной явным образом амбивалентны, что, кстати, еще раз подтверждает нелинейный характер их генно-культурной коэволюции: «развитие соматического бытия происходит безотносительно к конкретным социальным изменениям» (Газнюк, 2003). В принципе генно-культурная коэволюция реализуется по одному из следующих сценариев.

Прямой конфликт. Антагонизм между биогенезом и культурогенезом Зигмунд Фрейд положил в основу своей концепции, изложенной в его работе «Недовольство культурой». Культура, по его убеждению, выступает силой, жестко и безжалостно подавляющей естественно-биологическое психосоматическое бытие человеческого индивидуума. Трагическое столкновение культуры и психосоматики человека оплачивается распространением невротозов, являющихся прямым следствием прогресса цивилизации [Фрейд, 1989, 1992].

Обусловленность преобразований генома человека факторами социокультурной среды. Разительный конкретно-экологический пример — возникновение в тропиках древних цивилизаций, в основе экономики которых лежала система орошаемого земледелия и ирригации, способствовало расширению ареала малярийного комара, служащего переносчиком возбудителя малярии, а следовательно, распространению малярии. Побочным результатом этого стало широкое распространение в тропических областях наследственного заболевания крови — **серповидно-клеточной анемии**. Эта болезнь вызывается рецессивным летальным геном, но у гетерозигот наблюдается наследственный иммунитет против малярии. Гетерозиготы — организмы, в клетках которых содержатся две разные, альтернативные формы (аллеля) одного и того же гена. У гомозигот в клетках содержится два одинаковых аллеля. В данном случае серповидно-клеточная анемия существует в более тяжелой (смертельной) форме у гомозигот и в легкой, внешне практически незаметной — у гетерозигот.

Таким образом, высокая частота встречаемости генов серповидно-клеточности в некоторых тропических регионах объясняется прежде всего социально-экологическими причинами [Воронцов, 1999].

Преформация культуры и ментальности изменениями сомы и ее генотипической основы. Один из основателей социобиологии американский биолог Э. Уилсон постулировал существование так называемых **эпигенетических правил, имеющих в психике человека, — врожденных**

ограничений, влияющих на особенности восприятия, познания окружающего мира, мышления, поведенческие реакции. *Первичными эпигенетическими правилами* являются преимущественно автоматические процессы, идущие от профильтрованных сенсорных импульсов, поступающих от органов чувств, к восприятию. Результаты этого процесса в минимальной степени подвержены варьированию в ходе обучения и других процессов высшей нервной деятельности в коре больших полушарий головного мозга.

Вторичные эпигенетические правила включают в себя оценку самого восприятия, благодаря чему индивиды обладают способностью отдавать предпочтение одним элементам культуры по сравнению с другими [Рьюз, Уилсон, 1987]. Примерами первичных эпигенетических правил могут служить предрасположенность выбирать те или иные цвета, вкусовые ощущения и т.п., способные играть сигнальную роль в отношении опасных или благоприятных факторов среды. Список эмпирически установленных наследственных предрасположенностей включает «предпочтение ребенком сахара в сочетании с активным неприятием соли и горького, влияющее на эволюцию кухни; врожденное различие четырех основных цветов (синий, зеленый, желтый, красный); распознавание ребенком фонов, воздействующее на позднюю речевую структуру; предпочтение ребенком спокойного выражения лица, проявляющееся уже в первые десять минут после рождения; локомоторные стереотипы, ориентирующие обучающегося на человека как источник информации; различия между полами, проявляемые в том, как носят детей, и другие, более крупные объекты; реакция страха перед незнакомцем; предрасположенность к фобиям против некоторых опасностей, таких как высота, бегущая вода, змеи, при отсутствии фобий к другим опасным предметам, таким как электрическая розетка или ружья» (Lumsden, Wilson, 1981). Эволюционное (в биологическом смысле этого термина) значение подобных предпочтений обычно достаточно очевидно. Например, большинство ядов, с которыми человек сталкивается в повседневной жизни, воспринимаются как горькие; возможно, по тем же причинам человек оценивает как зловоние запах веществ, представляющих опасность для его здоровья, и т.д. С другой стороны, биологическая эволюция не успевает отреагировать на произошедшие в течение последних столетий, а то и десятилетий изменения среды, вызванные научно-техническим прогрессом, — огнестрельное оружие, электрический ток и пр.

Эпигенетические правила отражают одну общую особенность [Шанже, 1999] коэволюционирующих объектов. Их элементы, помимо собственных функций в той системе, частью которой они являются, репрезентируют некие состояния или процессы во «внешней» системе. Первый уровень таких репрезентаций характеризуется предельно жестким инди-

кативным значением относительно другой системы, поскольку они сопряжены с наиболее важными для выживания особенностями обеих систем. Репрезентации более высоких порядков отражают более сложные, нелинейные и комплексные отношения между системами. С точки зрения теории информации эти репрезентативные структуры могут рассматриваться как некие информационные блоки, оторванные от своего первоначального носителя и переданные партнеру в ходе взаимной адаптации (или дезадаптации). Именно эти репрезентации представляют собой материал для селекции, поскольку они обеспечивают выживание каждого из сопряженно эволюционирующих объектов и устойчивость целостной их совокупности. Анализируя форму и смысл подобных репрезентаций, становится возможным понять статическое состояние и направление динамических преобразований природы, общества, культуры и технологии.

Однако в любом случае генетическая и социокультурная наследственность как составляющие глобального эволюционного процесса не существуют абсолютно и относительно автономно друг от друга; они создают «единую содержательную целостность индивидуума» [Газнюк, 2003].

Опережающие темпы эволюции науки и технологии относительно не только генетической, но и социальной формы эволюционного процесса привели в экономическом пространстве, где действуют законы рыночной конкуренции, к замене коадаптации технологии «технологизацией» психосоматической конфигурации человека.

Возникает и постепенно заполняется новая «социально-экологическая» ниша — система самоконфигурации и самоконструирования психосоматической основы человека. Технологии, проникающие в новую нишу (различные диеты и «рациональное питание», косметика, «физическая культура», body-building, аутотренинг, психоанализ, и пр., и пр, и пр.), вначале ограничиваются фенотипической модификацией, т.е. изменением условий функционирования уже существующих генетических программ формирования соматической и психосоматической конфигурации.

По мере заполнения нового технологического пространства обостряется конкуренция и снижается эффективность развития существующих технологических схем. Как естественный и предсказуемый эволюционный результат возникают новые технологические системы, основанные уже на модификации собственно генетических программ индивидуального развития.

Первой такой технологией была предложенная Френсисом Гальтоном еще в 1869 г. позитивная и негативная *евгеника*.

Согласно современным определениям термин «евгеника» достаточно многозначен: теоретическая концепция изучения наследственности человека с целью создания концептуального фундамента и разработки методических основ оптимизации генофонда человечества; конкретные

технологии изменения генофонда человечества; политическое движение, ставящее целью реализацию программы решения социальных проблем путем изменения структуры генома человека, предусматривающей в той или иной форме меры государственно-правового регулирования и контроля; псевдонаучная форма антропогенетики, используемая сугубо как средство идеологического и политического давления. В общих чертах они отражают различные фазы исторической эволюции этого феномена в XX в.

Мягкая фаза социального прессинга на репродуктивный выбор достаточно легко переходит в жесткую форму — законодательное или административное принуждение. Обычно в качестве злоупотреблений и нарушений прав человека в этой области приводят нацистскую Германию. Действительно, здесь принимались весьма масштабные меры по принудительной стерилизации лиц с «отягощенной наследственностью» [Мюллер-Хилл и др., 2004; Hanashke-Abel, 1996; Kevles, 1999].

Но не следует забывать, что в эталонных странах западной демократии — США и Швеции — в те же самые годы происходили не менее впечатляющие события, связанные с попыткой оздоровления генофонда. Вот как это выглядело в Скандинавии, где формально «великий социальный процесс адаптации человека» к современным условиям индустриализации и урбанизации исключал прямое принуждение: «Умственно отсталого ребенка, как это было в Дании, могли по результатам тестов забрать в закрытое заведение, а условием возвращения домой поставить стерилизацию. Взрослого, находящегося в больнице, следовало заранее поставить в известность о намечаемой стерилизации и получить его согласие, но даже если он отказывался, рекомендовалось все равно начать подготовку к операции и говорить о ней с пациентом как о решенной, неизбежной и само собой разумеющейся вещи» [Россиянов, 2000].

Причем такие программы разрабатывались и принимались в условиях практически полного политического консенсуса, с участием наиболее авторитетных экспертов с мировым именем — юристов, генетиков, врачей. Среди консультантов был, например, один из классиков генетики, датский ученый В. Иогансен. Против таких законопроектов в Дании (1929 и 1934 гг.) выступило только шесть депутатов-консерваторов, в Финляндии — крайне немногочисленные представители левых социалистов. В целом же активное сопротивление реализации принудительных евгенических программ в Скандинавии оказала лишь католическая общественность, основываясь на содержании и духе Папской буллы *Castii connubii* (1930), в которой меры регуляции численности и состава населения безусловно осуждались. Последнее делает честь католической церкви, но... Как с сарказмом замечает один из российских историков, «католики не имели бы ничего против стерилизации или кастрации, если бы они

использовались в качестве наказания, например, за сексуальные преступления, но не были бы самовольным улучшением, вносимым в предустановленное устройство человеческого тела» [Россиянов, 2000].

А вот эпизод из истории США. В 1927 г. в Верховный суд США поступило дело о принудительной стерилизации 18-летней Керри Бэк, пациентки государственной психиатрической лечебницы штата Вирджиния для «умственно неполноценных», дочери «умственно отсталой» матери. Она стала жертвой изнасилования. Беременность — следствие этого преступления — завершилась, в свою очередь, рождением «умственно отсталого» ребенка. Верховный суд постановил, что «для всего мира будет лучше, если вместо того, чтобы дожидаться необходимости казнить дегенеративных потомков за [совершенное ими] преступление, или дать им умереть вследствие своего увечья, прекратить продолжение этого рода... Трех поколений идиотов вполне достаточно для этого» [US Supreme Court. *Buck versus Bell* // US Supreme Court Reporter, 1927; Smith, Nelson, 1989].

Трансформация евгеники в политический инструмент для «адвокатов расового или классового превосходства, защитников изначальных прав церкви или государства, фашистов, гитлеровцев, реакционеров», по словам американского исследователя Д. Дж. Кевле, завершилась к 1935 г. [Kevles, 1999].

После Второй мировой войны в отношении общественного мнения к возможности принудительного вмешательства с целью улучшения генофонда человека произошел перелом, повлекший за собой соответствующие изменения в политических, идеологических и юридических доктринах.

На том уровне развития науки о наследственности ее инструментальная база (стерилизация носителей неблагоприятной и патологической наследственности, подбор супружеских пар) оказалась недостаточно эффективной и требующей жесткого политического прессинга. Пришедшие ей на смену технологии пренатальной и предимплантационной диагностики, генотерапии, клонирования потенциально более легко адаптируемы (в разной степени) к действующим системам ценностных приоритетов и этических нормативов. Техническая эффективность их также на порядок выше.

Как ни парадоксально, именно в этом сочетании их достоинств заключается источник социального риска. Пожалуй, ни в одной сфере социальной жизни нелинейный характер отношений биосоциальной и социобиологической составляющих не проявляется так же остро, как здесь — в области генных и репродуктивных технологий. Рационалистические ожидания ответа различных социальных общностей и субкультур на их развитие можно свести к двум постулатам.

Скептики и консерваторы в отношении технологической возможности и этической допустимости использования методов модификации генома применительно к человеку должны принадлежать к психосоматической среднестатистической норме. Границы нормы определяются как некий коррелят социокультурных и естественно-научных критериев принадлежности к человечеству.

Энтузиасты и адепты расширения применения генных и репродуктивных технологий коррекции и усовершенствования генома человека и человечества чаще (но не обязательно) находятся за пределами этой нормы и стремятся либо в нее вернуться, либо пересмотреть ее границы.

Такой результат следовало бы ожидать, по крайней мере, если известный тезис «бытие определяет сознание» является адекватным действительности. Действительность же оказалась значительно сложнее. Среди представителей инвалидных, этнических и профессиональных сообществ, как мы увидим, достаточно сильны позиции тех, кто либо выступают против генотерапии и генодиагностики, либо стремятся использовать их для расширения числа носителей собственной субкультуры. Сохранение и расширение определенной социальной общности могут, таким образом, приобретать и более высокий статус относительно общечеловеческих стандартов, сохранения целостности и самоидентичности всего человечества.

Следуя Дэвиду Хайду (Heyd, 1992), в явном виде этически и юридически нормативный аспект биовласти проявляется при решении трех вопросов:

- нормативное установление момента рождения человеческой личности;
- нормативное определение сущности человека как личности;
- нормативное определение момента прекращения существования человека.

Если перевести эти вопросы на язык повседневной жизни, то они сразу же утрачивают академическую беспристрастность, приобретая взамен острую эмоциональную окраску.

С какого момента человеческий индивид приобретает «естественное право» человека — право на жизнь? Иными словами, когда человеческий эмбрион перестает быть объектом — совокупностью клеток — и становится субъектом права, на которого распространяются все права законопослушного гражданина?

Наличие какой совокупности атрибутов позволяет отнести конкретного индивида к полноправному человеческому существу, какие отклонения служат достаточным основанием для полного или частичного ограничения в правах — *de jure* или *de facto*?

И наконец, когда человек превращается из одушевленного субъекта в неодушевленный объект права (труп)?

В конечном итоге все они могут быть сведены к одному-единственному «вечному» вопросу: *что есть Человек?* На наш взгляд, однако, этот список не полный. К нему необходимо прибавить еще один пункт:

В каком отношении человек и человечество находятся с окружающим миром как некой целостностью? В чем смысл человеческого существования?

Вся политическая история Нового времени оказывается связанной с пересмотром, расширением или сужением того набора качеств, которые дают их обладателям имя человека, и определением той модели окружающего мира, которая наиболее соответствует его потребностям и идеалам. Совместимость рабства негров и политической демократии в США от провозглашения Декларации независимости до окончания Гражданской войны находила оправдание путем ограничения сферы действия записанного в конституции положения о равных естественных правах каждого человека только белой расой. И аргументация сторонников ограничения афроамериканцев в политических правах искала (и находила!) обоснование в, так сказать, объективных научных фактах [Согрин, 1990]. Сам автор «Декларации независимости» Томас Джефферсон сочетал в своем мировоззрении либерально-демократический политический радикализм с представлениями о биологически обусловленном неравенстве «белых» и «черных» рас [O'Brien, 1998]. Отталкиваясь от своих наблюдений, он констатирует, что «черные» не уступают «белым» в отношении памяти, но обладают значительно меньшим потенциалом в развитии способности к абстрактному мышлению, воображения, художественных способностей (за исключением музыкальных). Джефферсон считал эти различия детерминированными прежде всего биологическими особенностями расы, а не социальными условиями существования, ссылаясь при этом на значительно большую художественную одаренность индейцев сравнительно с неграми, хотя уровень жизни их сильно уступал «белым». Отсюда он делал биологический вывод о нежелательности смешения рас, а вслед за этим и политический — о нецелесообразности предоставления неграм-рабам после отмены рабства равных с белыми гражданских прав, предлагая взамен их высылку в качестве колонистов на свободные земли.

Еще раз подчеркнем мысль, которая кажется нам очень важной в рамках нашей темы. Отношение Т. Джефферсона к расовой проблеме формировалось скорее с позиций естествоиспытателя, а потом уже политика. «К нашему стыду следует сказать, что хотя в течение полутора веков перед нашими глазами находились люди, относящиеся к расам чернокожих и краснокожих людей, мы никогда не рассматривали их с точки зрения естественной истории, — огорченно замечает он и продолжает: — Поэтому я высказываю только как догадку что чернокожие, независимо от того, были ли они первоначально отдельной расой или время и обсто-

яательства выделили их, уступают белым по умственным и физическим способностям» [Джефферсон, 1990]. Это дает основание современным апологетам актуализации евгенических программ улучшения генофонда расы, нации и т.п. использовать его имя в пропагандистских целях [Reagon, 1996]. Отметим и еще два обстоятельства. Мнение Джефферсона было не единичным и разделялось многими естествоиспытателями и медиками, которых трудно заподозрить в сознательном нарушении норм научной объективности. Общепринятая экспертная оценка конца XIX в. звучала следующим образом (цитата заимствована из трудов крупнейшего специалиста того периода Карла Фогта): «Закругленный передний конец мозга и менее развитый нейрогипофиз у негров по строению соответствует мозгу детей, а по выпуклости париетальных долей — мозгу женщин... По своим интеллектуальным способностям взрослый негр стоит на уровне развития ребенка, женщины и белого мужчины с синильным синдромом» [Тищенко].

Научные факты и их интерпретация менялись сопряженно развитию политической ситуации, но это, однако, не освободило их от политической компоненты. Изменились только акценты и удельный вес конкретных данных в их совокупности. Для объяснения сказанного сопоставим результаты научных изысканий Т. Джефферсона с результатами расогенетических исследований интеллекта, известных в истории как так называемый скандал Дженсена [Булаева, 1991] — по имени американского исследователя, который на обширном экспериментальном материале продемонстрировал, что наследуемость величины *IQ* у европеоидов и афроамериканцев приблизительно равняется 80%. Иными словами, это означает ведущую роль генетических факторов в формировании *IQ*, считающегося показателем уровня интеллектуального развития. К тому же, по данным А. Дженсена, существует статистически достоверная межрасовая изменчивость величины *IQ*, причем у афроамериканцев *IQ* в среднем на 15 баллов ниже по сравнению с белыми и индейцами. По утверждению А. Дженсена, у негров более развит ассоциативный уровень интеллекта и менее — концептуальный (способность к абстрагированию). Два обстоятельства. Во-первых, популяционно-генетические исследования характеризуют относительную роль наследственности в данной совокупности особей в целом, находящихся в данной среде. Они оперируют со статистическими параметрами и неприменимы к отдельным индивидам. Во-вторых, статистические показатели носят вероятностный характер и говорят о неоднородности показателей интеллекта «белой» и «черной» рас. Собственно говоря, результаты Дженсена позволяют предвидеть, что среди афроамериканского населения США реже будут рождаться дети, которые могут стать впоследствии Нобелевскими лауреатами в области точного естествознания, но чаще — великие музыканты, поэты,

проповедники или ораторы (истина весьма банальная с точки зрения истории). Иными словами, доказывається разнообразие наследственных качеств человечества, отражающееся в разнокачественности рас и народов, а не их неполноценность. Изменился стандартный набор основополагающих признаков человека, изменилось и представление человека о собственной природе, изменилась и их политическая оценка. Неизменным осталось только одно — внутренне обусловленные ментальные, социокультурные, политические сдвиги и трансформации по-прежнему ищут внешнего оправдания, апеллируют к науке как последнему арбитру. Это обстоятельство прямо связано с природой техногенной (западной) цивилизации. Ее идеологическим ядром выступает *технологический детерминизм* — в уравнении социальной эволюции развитие науки и технологии есть независимые переменные, а развитие общества и экономики — производные от них.

Вернемся к теме нашего анализа. С учетом уже сказанного, *кто является носителем биовласти?* С одной стороны, таковыми выступают законодательные и исполнительные структуры, которые, собственно, и могут устанавливать определенные нормы и контролировать их соблюдение. Однако неявным образом обладателями биовласти оказываются владеющие научными знаниями эксперты, на чье заключение реально или декларативно опираются парламентарии, правительства, судьи и т.д. Наука в техногенной цивилизации играет роль скрытого или очевидного механизма принятия политических решений.

Тема анонимной власти удачно, на наш взгляд, смоделирована в одном из фантастических романов Станислава Лема [Lem, 1984]. Заметим, что цивилизация, описанная в этом романе («Эдем»), базируется на использовании биотехнологии, закончившейся глобальной катастрофой. Впрочем, в реальности власть науки далека пока что от такого сценария.

Другое дело, что в такой ситуации сами ученые оказываются под сильнейшим политическим прессингом, а следовательно, наблюдается конфликт интересов (профессиональных и политических).

Патерналистская модель взаимодействия общества и науки происходит следующим образом: общество *запрашивает* науку о возможности решения возникшей проблемы, а наука *предписывает* обществу способ ее решения. Этот способ рассматривается как не подлежащий обсуждению, ибо основывается на объективных законах природы. Он может быть принят или отвергнут по этическим или политическим соображениям, но сам вердикт пересмотру не подлежит. Отказ принять его означает, что задача решена не будет. *Наука оставалась вне политики и именно поэтому стала источником власти.* Патерналистская модель, как убедительно показал Мишель Фуко, впервые сложилась в рамках медицины. Очевидно, именно медицина первой из других наук стала но-

сителем биовласти. Генезис биовласти, по его утверждению, начался в период Великой Французской революции, когда «можно было наблюдать рождение двух великих мифов, темы которых полярны: миф национализированной медицинской профессии, организованной по клерикальному типу, внедренной на уровне здоровья и тела, с властью, подобной власти клириков над душами, и миф об исчезновении болезней в обществе, восстанавливающем свое исходное здоровье, где не будет потрясений и страстей... Две изоморфных мечты: одна позитивно рассказывающая о строгой, воинственной и догматической медикализации общества с помощью квазирелигиозной конверсии и внедрения терапевтического клира; другая, трактующая ту же медикализацию, но в победоносном и негативном стиле, то есть как сублимацию болезни в исправленной, организованной и постоянно наблюдаемой среде, где в конце концов медицина исчезнет вместе со своим объектом и основанием существования» [Фуко, 1998].

Вслед за медициной та же схема отношений утверждается и для других областей естествознания — по мере того, как они приобретают экономическую и политическую значимость. Очень четко М. Фуко диагностирует сакральный характер биовласти на первом этапе его эволюции. Наука становится религией техногенной цивилизации, решающей основные вопросы бытия человека в этом мире.

С рождением генных технологий ситуация приобретает коренные изменения. Перед лицом глобального кризиса и возможности утраты человечеством собственной идентичности научное сообщество уже не может игнорировать стремление другой стороны к более свободному и равноправному диалогу. Таким образом, приобретение политического значения существенным образом видоизменило место науки внутри социума. В демократическом гражданском обществе эти изменения можно определить как достижение паритетности между научным знанием и повседневными представлениями и ментальными стереотипами («*профанным знанием*» — по терминологии П. Тищенко (2001)).

В тот момент, когда развитие науки поставило ее на грань преобразования биосоциальной природы человека, рубеж между объектом и субъектом познания оказался настолько неопределенным, что демократические процедуры взаимоотношений внутри научного сообщества по необходимости стали распространяться и за его пределы. Возникла любопытная ситуация — исследователь (субъект познания) вынужден интересоваться мнением предмета своих исследований (объекта познания) о методах проведения эксперимента и о достоверности полученных результатов.

Если от научной теории и созданной на ее основе технологии зависит судьба меня самого, моих близких и потомков, всего человечества

в конце концов, то и выбор определенного сценария будущего из нескольких альтернативных должен приниматься в ходе двусторонней коммуникации эксперт — общество, эксперт — индивидуум, эксперт — государство и т.д. Здесь обе стороны коммуникативного взаимодействия имеют, по крайней мере, равное число голосов. Происходит любопытная вещь — этическая нагрузка научного знания, социополитический контекст научного открытия становятся имманентной, внутренней составляющей научного исследования. Связка коэволюционирующих систем — науки, этики и политики превращается в некий целостный нераздельный симбионт. *Биовласть порождает биополитику* [Олескин, 2001] — совокупность социально-политических наук о живом в плане как политической теории, так и практической политики, или, в более узком понимании, — применение подходов, теорий и методов биологических наук в политологии.

Второе гуманистическое измерение интеграции генетики и биотехнологии в жизнь современного человечества — *биоэтика* — этика выживания человечества, научная дисциплина, предметом исследования которой являются этические дилеммы и коллизии, возникающие в результате развития биотехнологии, приобретения человеком возможности контролировать и изменять течение глобального процесса эволюции жизни во Вселенной. «Полное смешение политического, социального и экономического в устройении настоящего обнаруживает биополитическое пространство», — пишут Майкл Хардт и Антонио Негри в уже цитированной книге [Hardt, Negri, 2002].

Для естествознания в целом и для биологии в особенности биополитика и биоэтика есть новые междисциплинарные области науки на грани между естественным и социогуманитарным знанием. Но для современной гуманистики они представляют собой уже результат нового статуса науки в социуме и ее нового имиджа в ментальности современного человека. Итак, в силу ряда факторов (развитие генетики и биотехнологии — только один, хотя и наиболее важный) происходит биополитизация современного мира. Это влечет за собой ряд важных следствий [Hardt, Negri, 2002]: «Полностью изменяется весь концептуальный горизонт. Биополитическое, рассматриваемое с точки зрения желания, есть не что иное, как конкретное производство, человеческая общность в действии. Желание оказывается здесь производственным пространством, реальностью человеческого сотрудничества в построении истории. Это производство является в чистом виде воспроизводством человека...

Онтологическая и антропологическая перспективы начинают все больше совпадать друг с другом. Биополитический мир — это неисчерпаемое сочетание порождающих действий, движущей силой которых является коллективное (как место пересечения сингулярностей). Никакая

метафизика, за исключением совершенно бредовых теорий, не может претендовать на описание человечества как разобщенного и бессильного. Никакая онтология, за исключением трансцендентальной, не может сводить человечество к индивидуальности. Никакая антропология, за исключением патологической, не может определять человечество как негативную силу... В биополитическом обществе решение суверена никогда не может противоречить желанию масс».

Нарисованная М. Хардтом и А. Негри картина биополитического мира выглядит крайне привлекательно, но необходимо сделать несколько принципиально важных оговорок, существенно осложняющих картину.

Во-первых, «диктатура масс» не выглядит столь безоговорочно привлекательной, если вспомнить социально-политическую историю XX в. и перечитать произведения Ортеги-и-Гассета.

Во-вторых, современная технология создает мощные средства формирования и контроля «общественного мнения», а в более широком смысле — программирования человеческой личности, эффективность которых превосходит все придуманное с благими или злыми намерениями за предшествующие тысячелетия. «Можно констатировать, что если философия и религия уже более двух тысячелетий безуспешно пытаются сделать его выше и лучше, то современная генетика, кажется, позволяет реализовать более эффективный проект выведения новой породы человека с необходимыми для стабильного существования социума качествами», — писал недавно Б.В. Марков (2003) во введении к сборнику «Перспективы человека в глобализирующемся мире». Несколько в другом ракурсе тот же самый разрыв между эффективностью этики и педагогики, обращающихся непосредственно к сознанию, и естественно-научных технологий, оперирующих с информационно-материальным субстратом соматического бытия мыслящей личности, описал П.Д. Тищенко (2001, 2013).

И в-третьих, биополитизация современной цивилизации означает, в частности, тотальную политизацию науки. Объективные критерии научной истины испытывают все возрастающее влияние со стороны общества. Существует вполне очевидная тенденция: *биоэтика как этика биотехнологии и методология биополитики превращается в теоретическую основу фундаментальной этики науки в целом*. Однако на этой стадии процесс не останавливается. Природа техногенной цивилизации такова, что наука составляет стержень ее несущей конструкции (что, кстати, проявляется в подмеченной П. Фейерабендом (1986) агрессивнo-экспансионистском характере ее отношений к остальным формам и составляющим духовной культуры). *Поэтому по мере биополитизации западной цивилизации биоэтика все более настойчиво претендует на роль базисной этической системы и политической идеологии общечеловеческого значения* [Поттер, 2004].

Эрин Уильямс сформулировала эти притязания очень четко: «Я использую термин “глобальная” для обозначения биоэтического фундамента того, что наша экономическая система, наши права человека, наша защита животных, наши экологические проблемы и наши исследовательские усилия взаимосвязаны... Я использую термин “Глобальная Биоэтика” как обозначение междисциплинарного, межкультурного движения, созданного для исследования новых технологий, проектов, разработок и существующих систем с целью создания такого будущего, где люди различных популяций будут иметь свою долю участия в уважении, сохранении и восстановлении здоровой биосферы» [Williams, 2004]. В этом же русле лежит и стремление идеологов биоэтического движения в США представить биоэтику как естественное развитие и продолжение политико-философской традиции, восходящей к отцам-основателям, прежде всего к Томасу Джефферсону [Lower, 2004].

Влияние новой ситуации на экономику разворачивается в двух плоскостях — эпистемологической и онтологической.

Эпистемологический аспект биополитизации экономики [Блауг, 1994; Автомонов, 1993; Философия экономики, 2002]. Во времена Адама Смита задача познания формулировалась как создание объективной картины окружающего мира, из которого был устранен человек — наблюдатель и преобразователь этого мира. В социоэкономической теории в этот период были устранены целевые и ценностные установки, политические и этические взгляды как отдельных индивидов — субъектов хозяйственной деятельности, так и самого исследователя. В соответствии с концепцией классика экономической теории Адама Смита деятельность человека в рыночной среде целиком определяется рационалистическими факторами — единым универсальным законом, ведущим независимо от воли субъекта к росту общественного богатства. Соматическая природа человека и индивидуальные особенности каждой человеческой личности выводились «за скобки» объективных законов функционирования экономической среды. Наиболее четко этот принцип отразился в догматически интерпретированном тезисе Карла Маркса «Человек — это совокупность всех общественных отношений».

Неклассическая и постнеклассическая эпистемологические концепции внесли в методологию науки существенные изменения.

Прежде всего научному осмыслению подвергается реальное поведение, реальные мотивы и стимулы поступков хозяйствующих субъектов в их целостности, включая сюда биосоциальную и психологическую составляющие.

Во-вторых, экономическая теория не может быть целиком освобождена от ценностно-этического и идеолого-политического компонентов. Объект и субъект социоэкономического познания включены в цикл пря-

мых и обратных связей. Сам процесс научного исследования оказывает влияние на поведение субъекта и его био- и психосоматическое бытие. В свою очередь, последнее в совокупности с социокультурными особенностями в значительной мере изменяет рациональную основу экономической деятельности индивида, делает ее нелинейной. «У совокупности общественных отношений не болит голова, она никогда не ест и не спит, у нее нет пола, а значит, нет детей. Да это же просто идея человека, а не сам человек», — иронизирует один из современных исследователей [Круткин, 1995]. Соответственно этому важнейшим элементом социоэкономической стратегии и тактики становится учет и использование этого фактора как средства формирования и реструктуризации рыночных отношений.

Онтологический аспект биополитизации экономики. Создаваемые в настоящее время технологии формирования и модификации потребительского рынка ориентируются в значительной мере на установки «здорового образа жизни», «здоровой наследственности», «экологической безопасности» и т.п. О структурных перестройках рынка технологий и основанных на них услуг говорилось несколько выше. Важно отметить, что и в этом случае возникает цикл с положительной обратной связью, связывающий биополитизацию современной культуры и эволюцию рыночной структуры. Фирмы и субъекты предпринимательской деятельности активно расширяют сферу занятой ими экономико-технологической ниши и тем самым еще более интенсифицируют процесс биополитизации, втягивают в сферу биовласти ранее незатронутые области.

Биовласть (истинная или виртуальная) становится элементом глобальной геополитической стратегии. В конкретных событиях современной истории (СПИД, атипичная пневмония, генно-модифицированные продукты, клонирование, легализация наркотиков и т.д. и т.п.) политологи и политические имиджмейкеры активно ищут (и находят) следы сознательного или спонтанного, тайного или явного, реального или виртуального использования новых биотехнологий в глобальных политических целях.

Институализация биоэтики в политической системе современного западного общества началась в конце 1970-х гг. в США и распространилась спустя несколько лет на страны Западной Европы, а в 1990-е гг. — и на постсоветское геополитическое пространство (Восточная и Юго-Восточная Европа, страны бывшего СССР). Одновременно учреждаются и наднациональные биоэтические органы — Экспертный комитет по биоэтике Совета Европы (1985 г., в 1992 г. переименован в Руководящий комитет по биоэтике в Совете Европы), экспертная группа Еврокомиссии (1991), Международный биоэтический комитет (1993) и Межгосударственный биоэтический комитет (1998), функционирующие в рамках ЮНЕСКО, и т.д. и т.п. Процесс протекал в форме создания консульта-

тивно-рекомендательных экспертных структур. Как правило, такие органы в результате оказывались «над схваткой», не вступая в политические конфликты и не вмешиваясь в конкурентную борьбу различных экономических группировок. Например, хронологически первый консультативный биоэтический комитет, созданный декретом президента Франции еще в 1983 г., имел задачу «выработки точки зрения на моральные проблемы, возникающие в ходе проведения исследований в области биологии, медицины и здоровья, будь то в отношении отдельных людей, социальных групп или общества в целом», без права разрешать или запрещать проведение конкретных исследований [Вековщина, 2004]. Как утверждал его президент Дидье Сикара: «Мы — “акушеры рефлексии”, так как именно члены нашего Комитета оказывают первую помощь при решении ежедневных моральных проблем» [Вековщина, 2004].

Однако моральный авторитет такого рода структур практически исключает или делает крайне проблематичной возможность оспаривания его рекомендаций законодательной или исполнительной властью.

Этические комитеты претендуют на роль аппарата, обеспечивающего защиту прав человека и достижение политического и общественного консенсуса, регулятора взаимоотношений бизнеса, государственных структур и обществ.

Особенностью развития биоэтики как идеологии биовласти в Украине, России и других странах, возникших после распада Советского Союза, стал ее «импортный» характер. Российский национальный комитет по биоэтике создан под эгидой РАН в 1992 г., Комиссия по вопросам биоэтики при Кабинете министров Украины — в 2000–2001 гг. на основе западной методологии и организационных форм, адаптируемых к реалиям локальной политико-экономической и социокультурной ситуации. Историческое наследие тоталитарных режимов и неразвитость гражданского общества делают такую адаптацию достаточно специфической. Биоэтические комитеты на постсоветском геополитическом пространстве в большей мере, чем на Западе, испытывают политический прессинг и тенденцию трансформации в один из факторов административного ресурса. Иными словами, сохраняется тенденция к авторитаризму, проявляющаяся в принципах создания и функционирования, механизмах принятия решений. Таким образом, структуры биовласти в Украине и России могут сыграть как стабилизирующую, так и дестабилизирующую роль в процессе становления гражданского общества [Чешко, 2002].

Помимо всего прочего, встает вопрос и о социокультурной адаптации биоэтики, т.е. ее интеграции в восточно-славянскую ментальность и систему этических приоритетов. Синергетика или антагонизм может иметь здесь ключевое значение с точки зрения сохранения в период кризисного

политико-экономического развития этногенетической и социокультурной идентичности.

Тотальный характер современной биовласти, равно как и ее опосредованный, неявный характер, имеет достаточно яркие примеры в недавней советской истории. Как отмечает неоднократно цитируемый в настоящем исследовании И.В. Бестужев-Лада, столкновение принятой в бывшем СССР системой «бесплатного» здравоохранения и мало затронутой коммунистической модернизацией традиционной патриархальной ментальности имело достаточно существенные последствия для телесного и душевного здоровья населения. Прежде всего резко возросла заболеваемость населения, вопреки, казалось бы, значительному росту количественных показателей здравоохранения. По числу койко-мест в лечебных учреждениях и врачей на душу населения бывший СССР действительно превосходил США.

Эти изменения коснулись как эпигенетического, так и собственно генетического уровня. В частности, значительно вырос мутационный генетический груз — вследствие значительного ослабления действия естественного отбора, роста пьянства и табакокурения, высокого, как полагает российский социолог, уровня психофизиологического стресса в школьных коллективах и т.п. Еще раз подчеркнем: *все эти изменения в репродуктивно-генетической сфере человеческого бытия были косвенно обусловлены идеологическим базисом и функционированием советской государственной машины. Из внимания ее были исключены отдаленные биомедицинские и генетические последствия принимаемых политических решений.*

Во-первых, в условиях стресса преимущество получают гетерозиготы, характеризующиеся большей устойчивостью к неблагоприятным воздействиям, но промежуточными значениями по большинству важных количественных признаков (так называемый *эугетерозис* по терминологии Ф. Добжанского). При этом женщины несут две одинаковые половые хромосомы — XX, а мужчины разные — XY. В силу этого у мужчин чаще, чем у женщин, проявляется действие расположенных в X-хромосоме генов, проявление которых у женщин может быть уравновешено генами, находящимися во второй X-хромосоме).

Во-вторых, в зависимости этих изменений от социокультурных и ментальных стереотипов. Не случайно отдельные регионы бывшего СССР отреагировали на социополитический стресс последних десятилетий двумя альтернативными путями. В первой группе (Украина, Россия, Беларусь, Прибалтика) наблюдалось снижение продолжительности жизни и исчезновение отдельных генотипов, во второй — те же самые социальные и экономические процессы протекали на фоне относительно благополучной генетико-демографической ситуации. Г. Апанасенко, озвучивший это наблюдение на II Национальном конгрессе по биоэтике

(октябрь 2004), приходит к выводу, что неприятие новой идеологии, сопряженный с ним нравственно-эмоциональный стресс и его последствия обуславливаются «исторической памятью народа, его этическим архетипом». По его утверждению, именно это выдвигает биовласть на первое место в системе политических приоритетов. В конечном счете, заявляет он в своем докладе, должно произойти перераспределение социальных и политических ролей в украинском (очевидно, не только украинском) обществе: юристы, финансисты, экономисты, хозяйственники «должны перейти в функциональное подчинение» к тем, «кто лучше знает природу человека и механизмы его поведения», — социологам, психологам, специалистам по популяционной медицине [Апанасенко, 2004].

В-третьих, помимо всего прочего, приведенные примеры свидетельствуют еще об одном: *функционирование государственной машины всегда имеет скрытую или явную биолого-генетическую компоненту, которая должна приниматься во внимание, особенно в современных условиях.*

Термин «биополитика» (*биополитология, biopolicy, biopolitics*) появляется в начале 60-х гг. XX в. Очевидно, исходный импульс развитию этого направления дали статьи Л. Колдуэлла 1963 и 1964 гг. Дисциплинарная институционализация биополитологии началась спустя 5–10 лет, параллельно со становлением биоэтики Р. ван Поттера. Ныне существует несколько биополитологических научных школ, наиболее влиятельными из которых являются американская (Л. Колдуэлл, Р. Мастерс, А. Сомит и др.), немецкая (Х. Флор, В. Таннесман и др.), голландская (В. Фалгер, ван дер Деепс), греческая (А. Влавianos-Арвантис). В России центрами биополитологических исследований являются Москва (А.В. Олескин) и Санкт-Петербург (В.С. Степанов).

Изначально биополитология понималась как редукция социополитических закономерностей к биологическим. Такой вектор развитию биополитологии был задан еще Л. Колдуэллом, который в своей программной статье 1964 г. писал: «Биополитика — это полезное клише, обозначающее политические усилия, направленные на приведение социальных, особенно этических ценностей в соответствие с фактами биологии» (Caldwell, 1964). Однако дальнейшее развитие биополитологии выявило, на наш взгляд, очевидную односторонность методологии биологического редукционизма, применяемой изолированно от эволюционно-интегративной составляющей. Уже в процитированной выше статье тот же Л. Колдуэлл говорил как о необходимости «синтеза научного знания и этических ценностей», так и об обязанности практической политики дать ответ на [взрывоподобное развитие. — *Авт.*] биомедицины и технологии» [Caldwell, 1964]. Позднее очень близкие, если не текстуально совпадающие высказывания были сделаны Э. Сомитом и С. Петерсоном (1979), Вигеле Р. Бланк и др. [Blank, 1982].

Гораздо более точным выглядит определение, согласно которому биополитика (биополитология) «релевантна определенным аспектам биологического знания» [Blank, 1982]. В подтверждение можно привести классификацию биополитологической проблематики, приводимой в учебном руководстве по курсу «Биополитика», подготовленном сектором биосоциальных проблем биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия) [Олескин, 2001]:

- природа человека: биополитический подход;
- эволюционно-биологические корни формирования политических систем;
- этологические и физиологические основы политического поведения индивидуумов и социальных групп;
- охрана биологического разнообразия экологической среды обитания человека;
- криминальное и агрессивное поведение как следствие несоответствия биологических стратегий выживания и существующих в социуме этических систем;
- биомедицинские (медико-этические) проблемы — аборт, эвтаназия, биотрансплантация и т.п.;
- педагогические, образовательные и просветительские проблемы, связанные с созданием адекватной системы биологических знаний у населения;
- социальные конфликты, обусловленные развитием генетических технологий, и т.д. и т.п.

Согласно современным справочникам термин «**биополитика**» оказывается полисемантическим по смыслу и поливариантным по происхождению. Так, в «Толковом словаре обществоведческих терминов» Н.Е. Яценко (1999) понятие «**биополитика**» употребляется в трех различных и не полностью сопоставимых смыслах.

1. *Одно из основных научно-философских направлений социобиологии, целью которой является раскрытие и изучение биологических законов, лежащих в основе поведения людей.*

2. *Комплекс теоретических идей, практических рекомендаций и действий экономического, экологического, правового, нравственного, политического и социального характера, связанных с пониманием и оценкой важности жизни на Земле, рассматриваемой как единое взаимосвязанное и взаимозависимое целое.*

3. *Расистская политика, представители которой пытаются оправдать некоторые политические агрессивные или прямые военные акты, исходя из биологического, особенно расового, превосходства.*

В первом значении этого слова биополитика соответствует методологии биологического редуccionизма. Во втором — тот же термин действи-

тельно представляет собой естественную реакцию политологического мышления на появление в этом концептуальном поле новых идей, порожденных техногенной цивилизацией. О третьем понимании слова «биополитика» следует поговорить особо, поскольку оно достаточно широко распространено на постсоветском политическом пространстве.

В своем учебнике «Геополитика» Ю.С. Тихонравов отождествляет термины «*биополитика*» и «*расизм*»: «поскольку в качестве идеологического направления геополитика апеллирует к природным началам, ее можно отнести к так называемой “естественной (натуральной) идеологии”. Сюда же можно отнести течение, родственное геополитике, также акцентирующее внимание на естественных основаниях политических решений — расизм, который по аналогии можно назвать “биополитикой”» [Тихонравов, 2000].

На наш взгляд, подобная интерпретация является некорректной. Политические проблемы возникали и будут возникать там и тогда, когда социокультурное воздействие на психосоматическое бытие человека окажется дифференцированным в отношении различных социальных общностей. Понятие «*социальная общность*» изначально более многомерно в сравнении с расой, нацией, этносом. А следовательно, биополитика не редуцируется собственно к своей этно- и расогенетической составляющей, и тем более, подобная редукция не может быть заменена чисто идеологической декларацией. Более того, подобные декларации оказываются достаточно опасными, поскольку устраняют из сферы методологического и научного анализа достаточно существенный фактор социального риска.

Очевидным образом различные аспекты биополитологии выходят за рамки «сведения» социальных закономерностей к их биологической основе. В упомянутом несколькими страницами выше учебном руководстве по биополитологии остается, однако, непреодоленным некий дуализм редукционистско-биологического и гуманитарно-социологического подходов к определению содержания и методологии биополитологии. Между тем, опираясь на методологическую и эмпирическую базу биологических наук, прежде всего генетики и теории биологической эволюции, по словам одного из американских экспертов Семюэля Хайнса (сказанным еще в 1982 г.), «биополитология должна найти свою [“экологическую”] нишу в рамках политологических дисциплин» и доказать «свою способность объяснить, если не решить, обоюдные противоречия (обычно расцениваемые как [концептуальные] дихотомии) внутри политологии, особенно во взаимоотношениях фактов и ценностей, эмпирических и нормативных концепций» [Hines S.M., Jr., 1982].

К этому вопросу мы вернемся несколько позже. Сейчас же отметим, что необходимость синтетической методологии биополитологических

изысканий проявляется уже в спорах по поводу ее базисных терминов и предмета исследований. В англо-американской научной литературе понятию «**биополитика**» соответствуют два лексических конструкта — *biopolicy*, и *biopolitics*. Первым из них (*biopolicy*) обозначают теоретико-содержательные политические аспекты интеграции биотехнологии и фундаментальных биологических концепций в культуру и экономику; второй термин (*biopolitics*) соответствует собственно выявлению биологического фундамента, генетико-эволюционных истоков социополитических конфликтов и процессов.

Аналогичная неоднозначность (однако несколько иная с точки зрения семантики) существует в русско- и украинскоязычных источниках.

Биополитика — раздел политологии, предметом которого являются политические аспекты взаимодействия двух глобальных саморазвивающихся систем — социума и биосферы [Hines, 1982].

Второй подход предлагает для обозначения того же концептуального поля как более адекватный по смыслу термин *биополитология*, оставляя за *биополитикой* в узком смысле этого слова только прикладные, практические коллизии и конфликты, связанные с социальным контролем психосоматических функций человека [Степанов, 1999].

Естественным, на первый взгляд, решением был бы чисто формальный перевод англоязычных терминов с приданием каждому из них соответственного семантического содержания: *biopolicy* — биополитология; *biopolitics* — биополитика.

Однако такой шаг не является, как мы считаем, оптимальным в глобально-методологическом аспекте, поскольку генетическая инженерия стирает грани между биополитическими проблемами, имеющими, так сказать, естественно-экологическое (взаимодействие социума и природы) и инженерно-технологическое (создание организмов с модифицированным геномом) происхождение.

С феноменологической точки зрения логический конструкт «**био-власть**» создает некое единое концептуальное поле, в сферу влияния которого потенциально и актуально включены:

I. *Естествознание:*

- а) *теоретическая биология (генетика);*
- б) *(био)медицина;*
- в) *(био-, генная) технология, с одной стороны, и*

II. *Социогуманитарное знание:*

- а) *(био)политика;*
- б) *(био)этика;*
- в) *(био)философия;*
- г) *(био)право;*
- д) *(био)культурология;*

- е) демография;
- ж) социология — с другой.

Одно из возможных названий для новой области междисциплинарных исследований — *концепция социобиологической и социотехнологической коэволюции*. Очевидно, такое название предусматривает и целостную методологию, в качестве которой может выступать *глобальный эволюционизм, предусматривающий рассмотрение интеграции новейших высоких технологий как процесса, обуславливающего и обусловленного социокультурными и генно-культурными трансформациями*. В основе этого процесса лежат два альтернативных, но взаимосвязанных способа кодирования, воспроизводства и преобразования информации, имеющей приспособительное значение, — *биологическое (генетическое) и социокультурное наследование*. В настоящее время уже четко просматривается возможность появления еще одного способа — компьютерного. Таким образом, с одной стороны, биологическую и социокультурную эволюцию можно рассматривать как некие «*информационные технологии*», с другой — говорить об инвариантности процессов биологической, социокультурной и «*технологической*» эволюции. Аналогия биологической эволюции и технологического развития приобрела широкую популярность в отечественной литературе со времени появления русского перевода «Суммы технологии» Станислава Лема, впервые опубликованной на польском языке в 1964 г.

Итак, биополитическая методология должна базироваться на теории коэволюции. В представленной ниже схеме достаточно четко выявляется многоуровневый, системный принцип формирования биополитического концептуального поля, биополитической практики и соответствующих им трансформаций социополитических институтов (см. рисунок).

Необходимо сделать несколько уточняющих замечаний.

Прежде всего к сфере теоретических основ биополитики отнесены:

- *биоправо* — разработка системы нормативных актов, регулирующих отношения индивида как некоего биосоциального существа с себе подобными и с социоприродной средой в целом;
- *биокультура (биокультурология)*, предметом которой, возможно, станет взаимовлияние культуры, биотехнологии и психосоматического субстрата человека как носителя разума;
- *социальная экология*, исследующая взаимодействие двух глобальных самовоспроизводящихся сопряженно развивающихся систем — биосферы и социума;
- *глобальная биополитология* — изучение общих социополитических закономерностей интеграции новых биотехнологий в социальную жизнь;

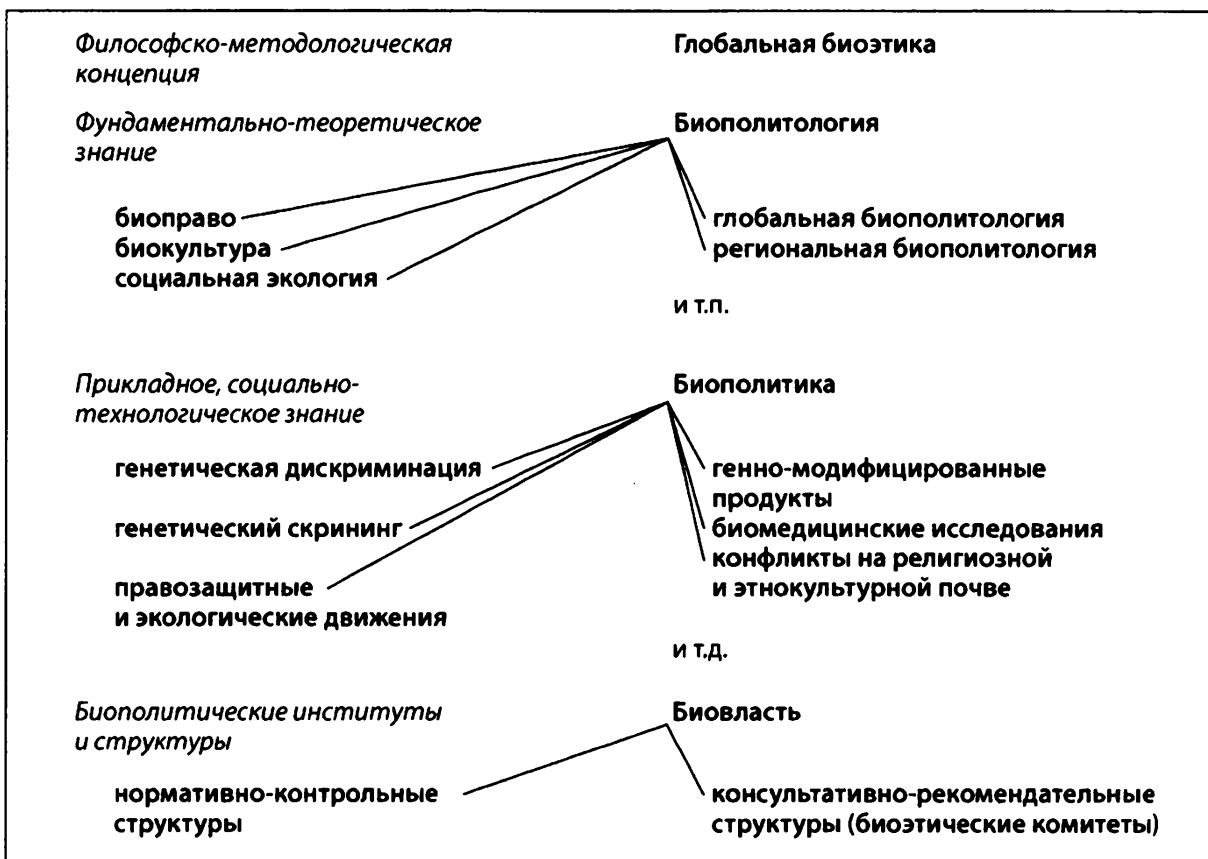


Схема формирования концептуального биополитологического поля

- *региональная биополитология — адаптация биотехнологий и фундаментального биологического знания к конкретному этнокультурному и социополитическому контексту.*

Далее, приведенная схема носит гипотетико-прогностический характер — некоторые ее элементы в настоящее время существуют не актуально, а лишь как потенциальные тенденции развития. Прежде всего это касается предполагаемого возникновения в будущем неких нормативно-контролирующих органов биовласти.

И последнее. Формирование биовластных структур должно основываться преимущественно на образовании горизонтальных, а не вертикально-властных отношений, т.е. быть результатом спонтанно достигаемого общественного консенсуса. Альтернативный сценарий (административная инициатива) представляет серьезную опасность, что и доказывает социополитическая история XX в.

Фукуямовский тезис о «конце истории», популярный на Западе в конце XX в., может оказаться ложным. К такому выводу пришел сам автор концепции Ф. Фукуяма, заявивший в своей последней монографии, что происходящая в последние годы *биотехнологическая революция* — «это не просто технологическая революция в нашей способности декодировать ДНК и манипулировать ею... Эта научная революция опирается

на открытия и достижения в ряде взаимосвязанных отраслей, помимо молекулярной биологии, включая когнитивные науки о нейронных структурах мозга, популяционную генетику, генетику поведения, психологию, антропологию, эволюционную биологию и нейрофармакологию» [Fukuяama, 2002]. Российский философ Б.Г. Юдин, процитировавший этот пассаж, замечает: «Одна из отличительных особенностей нашего времени состоит в том, что не только те науки, которые некогда были названы объясняющими, но и науки гуманитарные, которые принято характеризовать как понимающие, все в большей мере воспринимаются — более того, осознают себя — как науки технологические, позволяющие изменять человека» [Юдин, 2004]. Вернемся к эссе Фукуямы. По его мнению, самая большая угроза существованию человечества исходит от биотехнологии и заключается в разработке эффективных технологий осуществления биовласти: «Агитпроп, трудовые лагеря, перевоспитание, фрейдизм, выработка рефлексов в раннем детстве, бихевиоризм — ни один из этих методов не опирался на знание нейронной структуры или биохимической основы мозга, ни у кого не было понимания генетических источников поведения, а если и было, то его нельзя было применить для воздействия на них» [Fukuяama, 2002] (необходимо добавить — евгеника и расовая гигиена). Несколькими страницами ранее он предполагает: «Природа человека формирует и ограничивает возможные виды политических режимов, так что если какая-либо технология окажется достаточно могущественной, чтобы переформировать нас, то это будет, видимо, иметь пагубные последствия и для либеральной демократии, и для природы самой политики» [Fukuяama, 2002]. К этим рассуждениям необходимо только добавить, что все описанные Фукуямой способы управления сознанием человека, являются *реальностью любого* политического режима, а не только тоталитарного. И вследствие этого технологический риск становится в условиях современной техногенной цивилизации биополитическим и эволюционным просто по определению.

Итак, в силу научно-технического прогресса и вызванных им социокультурных и политических коллизий, а не только природной или техногенной катастрофы может произойти переход в эру «постчеловеческого мира».

Еще в 1924 г. идею качественного преодоления зависимости человека от собственной биологической основы, становящейся тормозом дальнейшей прогрессивной эволюции разумной жизни на Земле, высказал британский физиолог, генетик и эволюционист Джон Б.С. Холдейн в книге с весьма символическим названием — «Дедал, или Наука и будущее» [Haldane, 1924]. Он не первый и не последний раз выступал в роли «генератора идей», обладавших мощным эвристическим потенциалом с точки зрения последующего развития естествознания и становящихся катали-

затормозить столь же мощных процессов ментальных трансформаций западной цивилизации. И в этом случае книга Холдейна стала первой в ряду произведений наиболее известных и авторитетных естествоиспытателей, философов и писателей-фантастов. Сам термин «*трансгуманизм*» впервые использовал другой виднейший биолог XX в. — Джулиан Хаксли. По его мнению, трансгуманизм не равнозначен антигуманности: «Человек останется человеком, но превзойдет сам себя, благодаря новым возможностям, открывающимся перед его человеческой природой» [Bostrom, 2005].

Именно философы и представители искусства — Бертран Рассел и Олдос Хаксли обратили внимание на потенциальные опасности и возможность эрозии гуманистических идеалов современной цивилизации. Сохранение гуманности в новых технокультурных реалиях не могло реализоваться спонтанно вне целенаправленной социополитической активности. (Уже название опубликованной тогда же — в 1924 г. — книги Рассела заведомо полемично по отношению к футуристической концепции Холдейна: «Икар — будущее науки» (Russel, 1924). Столь же иронично выглядят предчувствия «Бравого нового мира» Олдоса Хаксли — ближайшего родственника и, как видим, оппонента Джулиана Хаксли.)

«Приводным ремнем» социально-политической истории и биосоциальной эволюции XXI в. становятся (среди других источников напряженности) биополитические коллизии. А следовательно, биополитологическая проблематика, связанная с механизмами осуществления биовласти, приобретает, как любил говорить М. Горбачев, «судьбоносное значение» или, точнее, роль основного формообразующего фактора для будущего человечества.

Одним из базисных постулатов классической этики науки был принцип этической нейтральности объективного научного знания. Ныне на смену устранению из научных теорий социоэтических и идеолого-политических суждений приходит иная стратегия — идентификация и исследование таких компонентов, разработка системы критериев, в соответствии с которыми научные теории и научные факты подлежат оценке прежде всего с точки зрения социальных и культурных последствий своего влияния на соматическое бытие человека в этом мире. Именно с комплексом этих обстоятельств и связан, очевидно, генезис феномена «опасного знания», которому посвящено настоящее исследование.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ: НАУЧНОЕ ЗНАНИЕ КАК ФАКТОР РИСКА

Один из старейших мыслителей XX в. Карл Поппер обратил внимание на сходство механизмов биологической эволюции и приращения научного знания: в основе обоих процессов лежит поиск удачных решений возникших проблем путем проб и ошибок, а затем запоминания удачного выбора. В соответствии с методологией эволюционной эпистемологии в этой трактовке саму эволюцию можно рассматривать как процесс познания, а возникновение биологической адаптации — как аналог создания новой научной теории. *Однако развитие науки подвело ее грани, когда она утрачивает (или почти утрачивает) право на ошибку, т.е. основной инструмент извлечения новой информации об окружающем мире* [Бек, 2000]. Социальная цена приобретения нового знания иногда становится слишком высокой.

Собственно говоря, Р.В. Поттеру удалось перевести проблему «опасного знания» (крайне своевременно, учитывая лавинообразное развитие высоких технологий, прежде всего информатики и генетической инженерии в последней трети XX в.) в плоскость практической философии в кантовском понимании этого слова, т.е. создания нового этического императива и конкретного механизма его реализации.

Три основных параметра позволяют, как полагал Р.В. Поттер [Поттер, 2002], однозначно охарактеризовать состояние системы «наука — социум».

1. **Объем** научного знания, который в первом приближении экспоненциально возрастает.

2. **Социальная компетентность**, определяемая как степень интеграции научного знания в существующие целостную систему менталитета и доктринально-идеологический фундамент данного социума.

3. Степень **социального контроля** за возможными природными и социально-политическими последствиями научно-технического прогресса.

При наложении этих взаимозависимых функций выясняется, что график изменений социальной компетентности и социального контроля имеет синусоидальную форму, где периоды подъема («золотой век») чередуются с периодами спада (социальный кризис). Причина этой закономерности

состоит в опережающем росте научного знания по отношению к способности общества осознать и адаптироваться к возникшим в результате новым реалиям бытия. К тому же результату (эту возможность Р.В. Поттер не рассматривал) приводит и обратное соотношение: значительное опережение темпов социальной трансформации относительно способности науки находить возможность решения возникающих затруднений, число которых стремительно растет.

Становление феномена «опасного знания» может быть исследовано по крайней мере в трех взаимообусловленных аспектах.

Феноменология. Содержание понятия «опасного знания», его общие и специфические проявления в жизни современной цивилизации. Восприятие феномена «опасного знания» менталитетом и его отражение в поведенческих модусах современного социума.

Эволюционная эпистемология. Когнитивные механизмы возникновения и пролиферации «опасного знания» в социокультурной эволюции человека.

Социальная этика. Эволюция этических и культурных парадигм современной цивилизации как проявление трансформации адаптивной стратегии человечества в ответ на расширение сферы действия «опасного знания».

Ниже мы попытаемся проанализировать все эти стороны проблемы, вынесенной в заголовок настоящего исследования.

ФЕНОМЕНОЛОГИЯ И ОНТОЛОГИЯ «ОПАСНОГО ЗНАНИЯ»

*«Кто в эту книгу заглянет,
Того крылатый ужас унесет».*

Гилберт Кит Честертон

В соответствии с классическим определением, данным Р.В. Поттером (2002), *опасным знанием* может быть признана полученная в ходе научных исследований информация о человеке и окружающем его мире, негативные последствия применения которой общество на данной фазе своего развития не способно эффективно контролировать. Иными словами, *опасное знание* — *предпосылка возникновения и источник социального риска* [Бек, 2000].

Феноменологически к проявлениям «опасного знания» можно отнести те научные концепции, которые сопряжены со следующими типами социального риска.

1. Увеличение потенциальной или актуальной вероятности техногенных катастроф, обусловленных человеческим фактором — ошибками обслуживающего персонала или непросчитанными последствиями практического использования новых технологий, созданных вследствие развития фундаментальной науки (классический пример — Фукусима, Чернобыль, Бхопал и т.п.).

2. Создание технологий массового уничтожения (пример — биологическое и генно-технологическое оружие), используемых в военных целях и не контролируемых достаточно эффективно существующей в настоящее время системой коллективной безопасности.

3. Юридически «несанкционированное» использование тех же самых технологий в целях устрашения (в том числе — биотерроризм и т.п. явления, грань между которыми и так называемым легитимным использованием во время военных действий, с точки зрения автора, не слишком четкая).

4. Возрастание социальной нестабильности вследствие столкновения доминирующих в обществе ментальных установок со вновь обнаруженными научными теориями и фактами, особенно в случае дифференциальной реакции на последние со стороны различных социальных (этнических, расовых, конфессиональных, политических) общностей. В частности, *любая научная теория, способная разрушить доминанту*

индивидуальной свободы — один из несущих стержней системы ценностей и ментальных установок техногенной цивилизации, является для нее (западной цивилизации) источником риска и, следовательно, «опасным знанием».

Как показывает семантический анализ, «опасным знанием» могут быть признаны следующие результаты научно-исследовательских разработок:

- полученная в ходе научных исследований информация о человеке и окружающем его мире, результаты технологического использования которой общество в настоящее время не может предвидеть и/или эффективно контролировать;
- научные концепции, которые вступают в конфликт с ментальными установками, этическими нормативами и отражающими их постулатами идеолого-политических доктрин и религиозных учений, являющихся базисными для данного типа цивилизации; еще в XIX в. культурно-психологическую составляющую «опасного знания» чрезвычайно эмоционально прочувствовал Николай Страхов, выведивший ее из ограниченности индуктивно-эмпирической методологии естествознания: «Сколько бы ни искал человек истины, как бы строго ни наблюдал действительность, как бы долго ни уяснял свои понятия, новый факт, по учению эмпиризма, может ниспровергнуть все это до основания. Но ведь есть дорогие убеждения, есть взгляды, определяющие для нас достоинство и цель всей жизни. Неужели же и за них люди осуждены навеки бояться? Если наши понятия вполне связаны с какими-нибудь совершенно частными явлениями, с известным местом или временем, то положение человека, искренне желающего руководиться истиной, было бы жестоко» [Страхов, 1887];
- основанные на научных разработках технологии, открывающие принципиальную возможность целенаправленного и широкомасштабного вмешательства человека в собственную биологическую природу (реконструкция генома *Homo sapiens*), поскольку характер и направление эволюции современной культуры человека связаны генетической преемственностью с предшествующей биологической эволюцией. Диалектика социальной эволюции человека впервые создает ситуацию ее возвращения на стадию биологической макроэволюции — перерастания социальной дифференциации в биосоциальную, а последней — в биологическую дивергенцию (**экзистенциальный риск** — дезинтеграция исходного биологического вида с образованием нескольких новых таксонов перманентно возрастающего ранга).

Таким образом, научное открытие вступает во взаимодействие — как вновь обнаруженные факты и теоретические постулаты — с менталь-

ными и как технологическая инновация — с материальными структурами.

В результате может нарушиться стабильность существующих социополитической и социоэкологической систем и начаться их адаптивная реконструкция. Это означает возрастание политической значимости соответствующих научных дисциплин и, следовательно, возрастание аксиологических и политических производных научной теории. Однако *опасным научное знание становится тогда и только тогда, когда иницицированные им трансформации выходят за пределы адаптивной нормы, т.е. за границы способности общества к адаптивному ответу — социальному действию.*

Невозможность социального действия приводит к двум альтернативным вариантам социально-политического ответа.

Игнорирование социального риска: все, что находится за рамками возможного социального действия, «воспринимается как квазиестественное ограничение или идеологически представляется таковым, с тем чтобы предотвратить критику политических действий за их недостаточностью» [Страхов, 1887].

Политический контроль репликации и пролиферации «опасного знания». Осознание социального риска, проистекающего из развития определенных научных дисциплин, теорий или методов, и, как следствие, прогрессирующая политизация науки, развивающаяся из прямой или неявной селекции тематики научных исследований. Критерием отбора в конечном счете становится прогноз последствий для уже сложившихся социоэкологических систем различного уровня сложности и возможность или невозможность интеграции научной теории в систему доминирующих в социуме на данный момент базовых ценностных приоритетов.

Первый из представленных здесь сценариев рассматривался В. Ван Ден Деле и П. Вайнгартном [<http://courier.com.ru/pril/posobie/weing>], второй — У. Бекком (2000). Все они подчеркивают, что принимаемое политическое решение относительно развития конкретной научной проблемы определяется в конечном счете самой наукой — выводами интегрального анализа ею собственной эволюции и социальной значимости (рефлексивного онаучивания — по Ультриху Беку). Однако результаты такого анализа рассматриваются уже в ином, отличном от научного, — политическом, экономическом и т.п. поле.

Вследствие неизбежных искажений в каналах информационного обмена восприятие конкретных научных достижений как социально опасных не обязательно соответствует действительной ситуации. Общественное мнение может считать опасным те теории, методы исследования, технологии, которые на самом деле таковыми не являются, и, наоборот, не заметить то, что реально создает ситуацию риска.

Из приведенных рассуждений следуют три существенных для последующего анализа вывода:

1) чем больше социальные и политические процессы опираются на науку, тем более ее последующее развитие становится коррелятом вызванных ею социально-экологических трансформаций;

2) дестабилизирующее влияние «опасного знания» на социоэкологическую систему связано как непосредственно с его содержанием, так и с выходом уровня катастрофического сознания за пределы адаптивной нормы;

3) поворотный пункт в превращении конкретной области исследований в «опасное знание» — это не столько установление посредством научного анализа факта сопряженного с ним социального риска, сколько формирование доминирующего социально-психологического имиджа, становящегося, в свою очередь, фактором, определяющим вектор дальнейшей социополитической эволюции.

Социоэкономические и социополитические последствия трансформации науки в «опасное знание»

«Опасное знание» коренным образом меняет ориентацию векторов социоэкономического и социополитического развития в сфере своего влияния.

Возрастает степень правовой регламентации научно-исследовательской и предпринимательской активности. Формируется административно-бюрократический аппарат, призванный контролировать теоретические разработки и прикладное использование «опасного знания».

Возникают социально-политические группировки и движения консервативно-алармической ориентации, стремящиеся привлечь внимание общественности к социальным рискам (подлинным или виртуальным) конкретных технологических воплощений «опасного знания».

В сфере притяжения «опасного знания» претерпевает серьезные изменения структура предпринимательской и производственной деятельности. Прежде всего пропорции государственного и частнопредпринимательского секторов экономики смещаются в сторону последнего, поскольку запретительные меры в отношении движения капиталов и инновационные вливания в этом случае значительно менее эффективны.

По тем же причинам научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки вытесняются в «тень», где потенциально могут оказаться и государственные (секретные военные разработки) и частные предприятия (организованная преступность, терроризм). В социумах с устоявшейся институциональной структурой, отличающейся высоким уровнем социополитического гомеостаза, удельный вес этого фактора относительно невелик. Для стран с переходным типом социоэкономиче-

ской и политической организации, находящихся в состоянии перехода («зона бифуркации»), где наблюдается формирование нескольких альтернативных социополитических и социоэтических структур, такая ситуация оказывается достаточно опасной с точки зрения развития общества по деструктивному сценарию — росту коррупции, сужению правового поля *de facto*, а затем и трансформация теневых экономических структур в политические, их вращение в сферу образования, науки, здравоохранения и т.д. Все эти явления уже наблюдаются на постсоветском геополитическом пространстве. Законный «импорт» и нелегитимная «контрабанда» современных технологий, проникновение новых научных знаний в не обладающее адекватным уровнем духовной культуры общество еще более их активизирует.

Политизация областей исследовательской активности после признания их разновидностью «опасного знания» прогрессирует в направлении от прикладных к теоретическим и фундаментальным разработкам.

Возникают и распространяются новые идеологические или религиозно-мистические концепции, модифицирующие доминирующие в социуме системы ценностных приоритетов путем рационального или иррационального обоснования необходимости или желательности тех научных направлений и технологий, которые признаны в социуме источником повышенного социального риска. (Получившая наибольшую известность и влияние в начале XXI в. секта праэлинов утверждает, что клонирование человеческих существ есть воплощение замысла инопланетной цивилизации, уже применившей эту технологию для создания разумной жизни на Земле. В соответствии с праэлинской доктриной человечество является потомками клонированных инопланетян.) Остальная часть человечества часто воспринимает деятельность исповедующих новые учения сект как чрезвычайно эпатажную. Отметим, однако, что новая идеология служит поддержкой принципу технологического императива.

Возможно, появление и усиление такого рода идей и движений служит предвестником новых ментальных доминант и этических приоритетов. Однако безоглядная пропаганда социально рискованных технологий в настоящее время ассоциируется с маргинальными социальными общностями и политическими группировками. Сдерживание техногенных социальных рисков, а следовательно, и развертывания «опасного знания», утвердившись первоначально в умонастроении подавляющей части избирателей стран Запада, в настоящее время все более становится доминирующим элементом ментальности политической элиты. Таким образом, эта установка становится фактором не только социоэкологической коадаптации, но и социополитического и социоэкономического гомеостаза, условием стабилизации и устойчивости политической организации общества.

Изменение эпистемологической ситуации, связанное с генезисом «опасного знания», проявляется и в следующем: объективно-безличностные и субъективно-этические, ценностные элементы в «ткани» теоретических конструктов оказываются сплавлены в некую целостность. Критерии и методология оценки степени «внешнего оправдания» (соответствия чувственному опыту) и «внутреннего совершенства» (логической стройности и непротиворечивости) утрачивают четкость, методология познания и построения теоретических концептов в естественных и гуманитарных науках конвергирует.

Мы наблюдаем социально обусловленное расслоение единого процесса научного познания на два автономных по своим социальным функциям потока.

I. Первый поток (собственно «*опасное знание*»), отвечает общему вектору эволюции техногенной цивилизации — преобразованию мира соответственно идеальному образу желательного будущего. Инструментом осуществления таких преобразований в силу своей прогностической функции выступает объективное, т.е. научное, знание.

II. Вторым потоком научного познания («*предупреждающее знание*») предназначен для выявления и расчета рисков, порождаемых «научно-техническим прогрессом», т.е. «опасным знанием» [Грани глобализации, 2003. С. 13, 276, 255–288].

Эта особенность современной науки коренным образом отличает ее от науки предшествующих стадий эволюции техногенной цивилизации — до ее перехода в эпоху информационных технологий.

Отношения между обеими составляющими научного познания асимметричны. Приращение «опасного знания» необходимо для развития «знания предупреждающего», но последнее само по себе существовать не может — фактический материал для научного прогресса в этой области поставляет его партнер. «Опасное знание» выступает в качестве автокатализатора собственного прогресса и катализатора «предупреждающего знания». Последнее, ингибируя поступательное развитие «опасного знания», лишает себя базы для собственного приращения.

Чрезмерный потенциал «опасного знания» грозит кризисом, а затем и саморазрушением техногенной цивилизации; чрезмерное развитие «предупреждающего знания» приведет к стагнации техногенной цивилизации, лишит ее адаптационной пластичности.

Высокий и постоянно растущий статус идеи контроля и регулирования негативных последствий «научно-технологического прогресса» одновременно повышает и вероятность перерождения политических партий и общественных организаций, социальных и предпринимательских структур, эксплуатирующих такого рода идеи. В настоящее время их благосостояние все более определяется уровнем тревоги в обществе. Доход, извлекаемый

из активизации проявлений катастрофического сознания, превращает их в «социального паразита», спекулирующего на побочных отрицательных последствиях научно-технического прогресса, сделавшего их источником собственного благополучия. Конкурирующие компании и фирмы активно используют сложившийся в обществе отрицательный имидж определенных технологий как орудие конкурентной борьбы, средство рекламы и антирекламы. В результате «опасное знание» может превратиться в новую разновидность социотехнического мифа современной культуры.

Гипотеза «скользящего склона»

Сторонники технологического детерминизма, отстаивая необходимость развития и безопасность того или иного вида технологий, часто выдвигают следующий аргумент. Данная технология является перспективной и не может рассматриваться как «опасное знание», поскольку основана на использовании широкораспространенных в природе процессов и явлений, а посему подобные технологии должны рассматриваться как естественные, безопасные (см. ч. I настоящей книги).

При более детальном анализе этот довод, однако, оказывается не столь уж логически неопровержимым, как кажется его авторам. Он исходит из неверной логической посылки. Человек не в силах создавать новые законы природы, действующие в доступной ему Вселенной. Но он может менять условия их осуществления, с тем чтобы добиться поставленной цели. Именно это — рационализированное изменение условий действия законов природы, протекания естественных процессов — составляет суть науки и технологии. А следовательно, любой вид технологии (включая наиболее «неестественные» с точки зрения современного общественного мнения) основывается на природных процессах и явлениях, в той или иной степени составляющих основу человеческого бытия. (Этот тезис можно считать одним из следствий постулата, известного в философии как *«антропный принцип»*.) Жизнь на земном шаре существует благодаря фотосинтезу, в основе которого лежит усвоение зелеными растениями солнечной энергии, а ее «естественный» источник — термоядерные реакции в недрах Солнца. Природная радиоактивность земной коры и космических лучей — важнейший источник мутационной изменчивости — материала для прогрессивной биологической эволюции. Но «естественность» радиохимических реакций не предотвратила ни Хиросимы, ни Чернобыля. Источник экологических и социальных катастроф — возникновение особой комбинации (естественной или созданной человеком) условий протекания естественных процессов, а не сами эти процессы.

Феноменологической особенностью развития «опасного знания» оказывается перманентная эскалация социальных рисков, параллельная возрастанию «господства Человека над Природой».

Описание этого феномена еще в позапрошлом столетии дал Фридрих Энгельс [Маркс, Энгельс, Соч. Т. 20. С. 495–496]: «Не будем, однако, слишком обольщаться нашими победами над природой. За каждую такую победу она нам мстит. Каждая из этих побед имеет, правда, в первую очередь те последствия, на которые мы рассчитывали, но во вторую и третью очередь — совсем другие, непредвиденные последствия, которые очень часто уничтожают значение первых». Эта цитата приводилась в советской литературе настолько часто, что оказались стертыми обнаженные в ней с жесткой последовательностью и логической неизбежностью причинно-следственные связи социального и экологического кризисов со стратегией технократического конструктивизма (независимо от того, как относиться к политическим взглядам ее автора).

В западной философской и социологической литературе эта модель получила название концепции «скользкого склона (*slippery slope*)». Пешеход, оказавшийся на крутом скользком склоне, внезапно утрачивает контроль над ситуацией. Малейшая случайная ошибка приведет к падению. Результат — либо он впадает в состояние ступора, не имея возможности сделать ни одного шага, либо затрачивает все большие и все менее эффективные усилия, чтобы сохранить равновесие, которые в конце концов переходят в неуправляемое движение к основанию склона.

Так развитие ситуации выглядит для не участвующего в событиях наблюдателя «со стороны». Но для самого путника, воспринимающего их с точки зрения собственного движения к поставленной цели вопреки сопротивлению враждебной силы, все представляется несколько иначе. Лучше всего его восприятие собственных действий подходит под шахматный термин «*цугцванг*» — цепь последовательных действий, каждое из которых причинно обусловлено предыдущим и базируется на акте безальтернативного выбора. Каждый шаг предпринимается как результат основанного на линейной экстраполяции поведения нелинейной неравновесной системы: ошибки постепенно накапливаются, и утрата равновесия становится необратимой. Этому выводу можно дать социоэкологическую интерпретацию: «Прибегая к одностороннему регулированию параметров своего будущего, люди вместе с тем переводят в состояние неопределенности систему окружающей среды, делают ее динамику непредсказуемой и экологически опасной» [Кисельов, Канах, 2000].

Иными словами, в соответствии с моделью «скользкого склона» (*цугцванга*) фундаментальной характеристикой «опасного знания» является запуск лавиноподобно развивающихся процессов изменений параметров социоэкологической системы, начинающийся в ответ на минимальный начальный импульс.

В математической теории катастроф [Арнольд, 1990] необратимые нарушения устойчивости системы (аттрактора) могут происходить,

в частности, в результате столкновения с другим неустойчивым аттрактором.

Условием взаимодействия стабильного и развивающегося аттракторов является, очевидно, их существование в едином фазовом пространстве, т.е. зависимость и влияние на одни и те же параметры. Также очевидно и другое — конкретный сценарий развития отношений между ними зависит от соотношения скоростей эволюционных преобразований каждого аттрактора и их относительной мощности. Коллизии между культурно-психологическими и научно-технологическими парадигмами обычно развертываются между экстремальными вариантами.

1. *«Скользкий склон»* — доминирует технологический императив («все, что не противоречит научной теории и осуществимо технически, будет реализовано»); конечная стадия — замена доминирующих ментальных стереотипов, социально-этических приоритетов и поведенческих модусов.

2. *«Политизированная наука»* — вненаучные социально-политические стереотипы становятся основными критериями отбора научных направлений, концепций, школ, профессионального успеха и социального статуса отдельных членов научного сообщества, автономия науки социального института подвергается эрозии.

Одним из главных претендентов на роль иницилирующего процесс разрушения социокультурного и социополитического гомеостаза, развивающегося по схеме цугцванга, выступают генные технологии и фундаментальная генетика. Это справедливо как для публикаций в средствах массовой информации, так и для высказываний экспертов и государственных деятелей Запада. Например статья Thompson B., Harrub B. (2001). Излагаемая в этой статье негативистская и крайне алармистская точка зрения на проблему клонирования в целом дает адекватное представление об отношении христианских конфессий к перспективам прикладного использования методики клонирования человека в любых, в том числе терапевтических, целях.

Алгоритм заранее преформированных «шагов» коэволюции науки, технологии и социума можно реконструировать следующим образом (табл. 1). Итак, в соответствии с этим сценарием процесс разрушения человеческой цивилизации иницируется внедрением генетических технологий в клиническую практику, которое постепенно, шаг за шагом, ведет к эрозии этического и культурного фундамента современной цивилизации и завершается утратой человечеством собственной генетической идентичности, распадом на несколько самостоятельно эволюционирующих видов.

При всей очевидной фантастичности такого сценария ментальные и культурные предпосылки и ограничения разнообразия существуют уже

Таблица 1

**Экстремальный сценарий развития социальных последствий
развития генных технологий**

1. Генодиагностика ↓	2. Генотерапия ↓	3. Репродуктивные технологии ↓	4. Организмы с модифицированным геномом ↓
1	2	3	4
<p>1.1. Выявление причинной или коррелятивной связи между конкретными признаками (не обязательно патологическими) и наличием определенных нуклеотидных последовательностей в геноме их носителей. Их широкое практическое использование позволяет выявить членов разнообразных групп риска и, наоборот, — членов социальных, профессиональных и прочих элит</p> <p style="text-align: center;">↓</p>	<p>1.2. Генотерапия соматических клеток позволит исправлять дефекты генома, обуславливающие или существенно повышающие риск развития различных патологий. Прямого вмешательства в состав генофонда человека еще не происходит, однако величина генетического груза будет постепенно возрастать из-за ослабления давления отбора. Отсюда создается благоприятная социальная среда для распространения</p> <p style="text-align: center;">↓</p>	<p>1.3. Пересмотр ригористической политики в отношении абортс создаст благоприятную социальную среду для более быстрого прогресса в области эмбриологии человека и репродуктивных технологий</p> <p style="text-align: center;">↓</p>	<p>1.4. Генетическая инженерия сделала возможным резкое ускорение селекционного процесса в отношении хозяйственно важных признаков</p> <p style="text-align: center;">↓</p>
<p>2.1. Широкое использование (<i>de jure</i> или <i>de facto</i>) генетических тестов в сферах профориентации, трудоустройства и медицинском страховании, что приведет к</p> <p style="text-align: center;">↓</p>	<p>2.2. Генотерапии половых клеток, позволяющей устранить из генофонда генетические детерминанты наследственных патологий</p> <p style="text-align: center;">↓</p>	<p>2.3. Разработка методов оплодотворения <i>in vitro</i> создает предпосылки для получения большого количества человеческих эмбрионов и диагностики создания методик клонирования, получения эмбриональных стволовых клеток и предимплантационной диагностики в терапевтических и генотерапевтических целях</p> <p style="text-align: center;">↓</p>	<p>2.4. На следующем этапе стало возможным создание организмов с не существующим в природе набором наследственных признаков</p> <p style="text-align: center;">↓</p>
<p>3.1. Ограничению действия принципа равных стартовых возможностей — одного из базисных положений доктрины прав человека</p>	<p>3.2. Все большее число лиц будет прибегать к генодиагностике и генотерапии для обеспечения им</p>	<p>3.3. Возникает проблема «ребенок (эмбрион) на запчасти» — оплодотворение, инициация развития челове-</p>	<p>3.4. Как следствие ожидается разрушение гомеостатических экосистем биосферы и необходимость их замены искус-</p>

Окончание табл. 1

1	2	3	4
↓	самим или их детям лучших шансов в достижении более высокого социального статуса (интеллект, физическая выносливость, быстрота реакции, сексапильность и т.д. и т.п.)	ского эмбриона и рождения ребенка в целях лечения третьих лиц	ственно регулируемой техносферой, а также снижение уровня биологической адаптации человечества (увеличение числа аллергических заболеваний и т.п.)
<p>5. Евгеника и генетическая дивергенция</p> <p>Вследствие кумулятивного действия предыдущих стадий начинается процесс перманентной адаптации генома человека к новым условиям социальной и экологической среды</p>			
<p>5.1. Высокая стоимость генно-технологических манипуляций по улучшению генома приведет к расслоению генофонда человечества на несколько коррелятов с уровнем дохода</p>		<p>5.2. Одновременно будет расти количество людей, прибегающих к генотерапии в целях увеличения шансов вхождения в профессиональную или социальную элиту</p>	
<p>6. На завершающей стадии происходит утрата человечеством собственной генетической идентичности и его прогрессирующая дивергенция на несколько самостоятельно эволюционирующих видов</p>			

сейчас и диагностируются даже при поверхностном социологическом исследовании. Приведем только два факта, которые можно рассматривать как эмпирические доказательства подобного вывода.

Факт первый. Американская супружеская пара (белый и афроамериканка), страдавшая бесплодием, обратилась в клинику с просьбой провести операцию искусственного оплодотворения. Супруги поставили непереносимое условие: ребенок должен родиться белым. Мотивация: «Так ему будет легче жить».

Факт второй. Несколько ассоциаций слепых и глухих выступают против разработки методов генотерапевтического лечения наследственных патологий. Иначе это приведет к гибели их субкультуры, их специфическую систему ценностей. Известен случай, когда *слепые* будущие *родители* просили *ослепить их еще не родившегося ребенка* в утробе матери: «Мы не хотим, чтобы он был одним из вас. Мы хотим, чтобы он был одним из нас, остался в нашей семье, в нашем сообществе. В нашем мире, о котором вы ничего не знаете, не хуже, чем в вашем!» [Тищенко, 2001].

Итак, основа для реализации негосударственной, основанной на самостоятельной, не контролируемой государством евгенической программе, так сказать евгеники домашнего разлива (выражение Роберта

Райта, цит. по: [Paul, Falk, 1999]), в западном менталитете уже сформировалась. А значит, разрыв в описанном выше апокалиптическом сценарии возможен только в двух случаях.

1. *Техническая невозможность реализации одного из этапов.* Однако абсолютная неосуществимость какой-либо технологической схемы представляется крайне маловероятной. Скорее можно говорить о более или менее длительном эффекте торможения, связанном с поиском способов достижения поставленных целей.

2. Наличие *ментального коррелята соответствующих поведенческих стереотипов, достаточно мощного, чтобы канализировать вектор научно-технического развития в границах, согласующихся с действующей системой этических приоритетов.* Стабильность социально-гомеостатического механизма обеспечивается конкуренцией с предшествующими альтернативными ментальными установками.

Концепция «эволюции, управляемой человеком» основывается на некой стратегии выживания человечества. Исходными постулатами этой доктрины являются два:

- 1) наша судьба — в наших генах;
- 2) наши гены — в наших руках.

Если действие иных факторов — ментальных и социокультурных — считать константным, то последующая эволюция человека определяется лишь балансом между нашими современными представлениями об индивидуальном и общем благе, с одной стороны, и технической возможностью ее осуществления — с другой. Будущее человечества и будущее Разума оказываются достаточно жестко запрограммированными технологическими возможностями и системой ценностных приоритетов. Но если исходная бинарная связка постулатов справедлива, то и система приоритетов, и конечная цель вмешательства человека в свою биосоциальную природу будут меняться вместе с ними. «Эволюция, управляемая человеком», теряет свою телеологичность движения к «пункту омега» и вновь приобретает черты открытого процесса. Траектория этого процесса на отдельных участках может описываться посторонним наблюдателем как «стохастический дрейф».

Как показывает приведенный выше анализ структуры менталитета, последний обладает достаточно мощным гомеостатическим потенциалом. Следует, однако, учесть, что пролиферация новой научной теории в массовое сознание сопровождается формированием в последнем синергетических конструкций, создающих, в свою очередь, благоприятную для новых технологий социально-экологическую нишу. По-иному, например, трудно объяснить, почему техническая неэффективность предлагаемых в начале XX в. евгенических программ стала очевидной только *post factum*, хотя необходимые теоретические предпосылки для ее обнаружения

были в наличии уже тогда. Рискнем сделать общий вывод: либеральная концепция свободного выбора предусматривает отсутствие юридического или административного принуждения; в условиях возросшего риска необратимых решений, проистекающих из считающихся научно обоснованными рекомендаций, ее уже нельзя признать достаточно эффективной. Требуется достаточно взвешенная и толерантная система этических приоритетов, стабилизирующая устойчивость и преемственность развития современной культуры. Иными словами, биополитика и биоэтика оказываются взаимодополняющими, синергетически кумулятивно действующими элементами социокультурного гомеостаза.

Можно ли в настоящее время оценить величину потенциального риска, создаваемого генетикой и генными технологиями, для западной цивилизации? Можно ли расчленить этот риск на отдельные составляющие и вычислить их относительное значение? И наконец, как соотносятся степени опасности генетики и генных технологий, определенные на основе экспертных оценок и социологических исследований общественного мнения? Эти три проблемы будут предметом нашего анализа, который в следующем разделе по необходимости перейдет из сферы методологии и эпистемологии в поле социологии науки.

ГЕНЕТИКА И ГЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК «ОПАСНОЕ ЗНАНИЕ». СОЦИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

*«Мы думали, наша судьба нисходит к нам со звезд.
На самом деле наша судьба записана в наших генах».*

Джеймс Уотсон,
лауреат Нобелевской премии, 1997 г.

В триаде наука — менталитет — политическая ситуация наиболее консервативным элементом является ментальность. Поэтому, как правило, конфликт науки и политики проистекает из расхождения между действительным содержанием научной концепции и ее имиджем в массовом сознании. Этот разрыв приближается к опасному порогу в период научной революции, особенно при условии параллельно существующей социальной нестабильности. В истории генетики такими периодами были становление менделевской генетики (первая треть XX в.) и рождение генно-инженерных технологий генетического анализа и скрининга.

Действительно, генетика в первые 50 лет своего существования доказала свою причастность к глобальной эволюции человечества как в позитивном, так и в негативном смысле, а следовательно — и потенциальную возможность своей трансформации в политизированную науку и в собственно «опасное знание». Оба этих феномена, как показывает история «мичуринской генетики» в бывшем СССР и «расовой гигиены» в нацистской Германии (а в менее экстремальном варианте — и в евгенических программах США и Скандинавских стран), эволюционно взаимосвязаны, хотя связь эта носит, если можно так выразиться, нелинейный характер. Однако не как локально исторический феномен в жизни отдельных стран, а как закономерность, имеющая глобальное философское социальное значение, этот аспект развития генетики стал рассматриваться в последней четверти XX в. — с возникновением генетической инженерии как теоретической основы различных типов генетических технологий.

Генетическая инженерия, таким образом, составляет теоретическую и методологическую основу разработки отдельных типов генных технологий в различных сферах современного производства — от медицины и сельского хозяйства до криминалистики, педагогики или военного дела.

Экспертные оценки перспектив и риска развития генетических технологий. Текстологический анализ

Генетическую инженерию можно определить как теорию анализа молекулярно-функциональной организации и реконструкции генома с целью создания организмов с заранее запланированным набором признаков. К инструментально-методическому аппарату генетической инженерии можно отнести:

- выделение из клетки отдельных генов и надгенных структур (индивидуальных хромосом и/или их фрагментов, клеточных ядер);
- синтез генов вне организма;
- копирование и размножение (*молекулярное клонирование*) выделенных или синтезированных генетических структур;
- целенаправленную перестройку выделенных генетических структур;
- перенос и интеграцию генов и их структурных элементов в геном иного организма (*трансгеноз*);
- объединение и интеграцию нескольких геномов, принадлежащих разным организмам в одной клетке, минуя обычный половой процесс (*соматическая гибридизация*).

Наиболее разработанными в методическом отношении генетическими технологиями, перспективы использования и сферы применения которых в настоящее время уже обозначились, можно считать:

- создание *организмов с модифицированным геномом*, т.е. имеющих набор генов, отсутствующий у любого реально существующего биологического вида, в частности применительно к человеку;
- *генотерапию* — введение нормальных генов в клетки носителей генов наследственных болезней, в широком смысле слова — целенаправленная перестройка генома человека (последняя интерпретация часто встречается в СМИ, юридических и политических документах);
- *генодиагностику (генетические тесты)* — методы диагностики наследственной патологии, наследственной предрасположенности к определенным заболеваниям, генетически обусловленной реакции организма на конкретные лекарственные препараты и т.п., а также выявление носителей соответствующих генов, основанные на исследовании молекулярной структуры генома пациента. В расширенном толковании (распространено в тех же документах, что и приведенное выше, не вполне строгое толкование генотерапии) — методы обнаружения носителей любых генов, генотипов,

наследственных признаков и т.п., основанные на изучении молекулярной структуры ДНК и РНК, белков, конкретных белков, отдельных хромосом и хромосомных наборов. Те же методы можно использовать и с целью генетической идентификации личности (*генетическая дактилоскопия*);

- *клонирование целого организма и его отдельных органов* — получение совокупности генетически идентичных клеток или особей, происходящих от общего предка или соматической клетки путем бесполого размножения. Как и в предыдущих случаях, зачастую имеет место расширенное толкование — воссоздание конкретной особи с использованием генетической информации молекул ДНК, выделенной из живых организмов или их останков.

Для экспертов-естествоиспытателей и технологов, как уже говорилось, характерно редуцировать проблему техногенного риска к вопросам техники безопасности и технологической надежности мер безопасности. В соответствии с технологической концепцией исчисление величины, например, генно-технологического риска должно подчиняться одному из двух альтернативных методологических принципов [Вельков В.В., 2000, 2002].

1. *«Экспертиза продукта»*: производится оценка степени риска продукта, а не технологии. Определение величины опасности конечного продукта независимо от метода его получения (путем генной инженерии или традиционных технологий — гибридизации, мутагенеза, селекции). Если подвергаемый генетической модификации организм исходно не представлял собой источник повышенной опасности и конечный продукт генетической модификации сам по себе безопасен, то риск способа генетической модификации сам по себе во внимание не принимается.

2. *«Экспертиза процесса (технологии)»*: исчисление степени риска производится на основе определения опасности каждой отдельной стадии его модификации и процесса в целом. Эта методология стала базисным принципом двух основных юридических документов, регламентирующих международное сотрудничество в этой области, — «Кодекса добровольно принимаемых правил, которых надлежит придерживаться при интродукции (выпуске) организмов в окружающую среду» [Кодекс, 1993] и «Протокола по биобезопасности» [<http://www.biodiv.org/biosafe/BIO-SAFETY-PROTOCOL.htm>].

Первая методология принята в США, вторая — в Евросоюзе. В соответствии с точкой зрения критиков, технология исчисления риска, ориентированная на процесс, не имеет разработанной методики исчисления риска, излишне регламентирует научно-исследовательские и технологические разработки, чем создает предпосылки неоправданного роста бюрократического аппарата и условия для развития эффекта торможения

наиболее перспективных областей науки, технологии, экономики. Американский эксперт в области биотехнологии Г. Миллер еще в 1995–1999 гг. охарактеризовал европейскую стратегию контроля «опасного знания» в этой области как «бюрократическую бомбу с часовым механизмом» [Miller, 1995], «разрушительную для науки и экономики XXI века» [Miller, 1999].

В свою очередь, методология оценки риска, ориентированная на продукт, по мнению ее противников, означает проведение экспериментов в открытой среде без анализа всех возможных социоэкологических последствий, в том числе необратимых. Неявным образом в доводах и контрдоводах, в общем эмоциональном имидже прослеживается опора американской стратегии на приоритет естественно-научной и европейской — социогуманитарной составляющей оценки технологического риска.

В любом случае анализ тех технологических перспектив, которые обещает развитие генетической инженерии, позволяет сделать вывод о ее превращении в наиболее мощный из всех когда-либо изобретенных человеком со времени неолитической революции инструмент «преобразования природы».

Потенциальные сферы применения генных технологий охватывают большую часть глобальных проблем, которые стоят перед человечеством в настоящее время или могут возникнуть в будущем (табл. 2):

- приостановка и реабилитация деградирующей в результате производственной деятельности природной среды;
- разработка новых технологий энергетики, основанных (в отличие от традиционных) на использовании невозобновляемых энергетических ресурсов;
- контроль распространения в генофонде человечества генов, ответственных за развитие наследственных патологий, и лечение последних;
- перестройка генома *Homo sapiens* в соответствии с новыми требованиями, предъявляемыми состоянием его социоэкологической среды обитания в настоящее время или в будущем;
- создание новых форм жизни, способных, в частности, обеспечить космическую экспансию человечества.

На основании текстологического анализа «объективных», т.е. принимающих в расчет только естественно-научные и технические аспекты проблемы «опасного знания», высказываний и оценок экспертов-генетиков и биотехнологов можно нарисовать следующую картину восприятия ими перспектив и опасностей генетических технологий.

Во-первых, в соответствии с достаточно широко распространенным среди тех же экспертов-естественников мнением, «единственными принципиальными ограничениями возможностей генной инженерии являются

Таблица 2

Возможные пути использования генетических технологий при решении глобальных экологических проблем*

Проблема	Пути решений
<i>Деградация окружающей среды</i>	
Парниковый эффект (перегрев атмосферы из-за накопления углекислого газа)	Трансгенные микроорганизмы, поглощающие CO ₂ из атмосферы
Уменьшение количества плодородных земель, наступление пустынь	Почвенные трансгенные микроорганизмы, активно поглощающие воду из атмосферы
Загрязнение Мирового океана и падение его продуктивности (Мировой океан — основной генератор биомассы планеты)	Морские трансгенные микроорганизмы с повышенной продуктивностью биомассы
Снижение плодородия почв	Трансгенные микроорганизмы, повышающие плодородие почв
Загрязнение почв и водоемов	Трансгенные микроорганизмы, утилизирующие загрязнители (нефтепродукты, остатки пестицидов и др.)
Кислотные дожди	Трансгенные микроорганизмы, эффективно утилизирующие окислы азота
<i>Истощение источников энергоносителей</i>	
Снижение нефтеотдачи скважин	Трансгенные микроорганизмы, уменьшающие вязкость нефти (расщепление длинных углеводородных цепей)
Исчерпание газовых месторождений	Трансгенные микроорганизмы, синтезирующие CO ₂ для повышения давления в скважине. Трансгенные водородные бактерии, водород как экологически чистое топливо. Трансгенные растения, сверхсинтезирующие эфиромасличные соединения (горюче-смазочные материалы). Трансгенные деревья с быстрым накоплением древесины (топливо)
<i>Проблемы исчерпания сырья</i>	
Дефицит сырья	Трансгенные организмы, синтезирующие самораспадающиеся биопластики. Трансгенные микроорганизмы, синтезирующие каучук, шелк. Трансгенные деревья с пониженным содержанием лигнина для производства бумаги. Трансгенные микроорганизмы для обогащения руд
<i>Повышение эффективности сельского хозяйства</i>	
Недостаточное плодородие почв.	Трансгенные микроорганизмы как биоудобрения
Вредные насекомые	и биоинсектициды
Загрязнение среды	Трансгенные микроорганизмы для биоконверсии отходов сельского хозяйства

Окончание табл. 2

Проблема	Пути решений
Возбудители болезней растений	Трансгенные микроорганизмы, уничтожающие фитопатогены
Болезни сельскохозяйственных животных	Трансгенные микроорганизмы как живые вакцины для ветеринарии
Недостаточная продуктивность сельскохозяйственных растений	Трансгенные растения с повышенной пищевой и кормовой ценностью. Трансгенные растения, устойчивые к стрессам, гербицидам, вирусам. Трансгенные растения, поражающие вредных насекомых. Трансгенные растения — продуценты вакцин (растительные съедобные вакцины). Трансгенные декоративные растения (флуоресцирующие цветы и др.)
Недостаточная продуктивность сельскохозяйственных животных	Трансгенные животные с повышенной продуктивностью биомассы и молока. Трансгенные животные как биореакторы, продуцирующие в молоке ценные белковые препараты. Трансгенные животные как доноры органов для трансплантации
Повышение эффективности производства пищи, недостаточная эффективность технологий	Трансгенные микроорганизмы для молочной промышленности, пивоварения и виноделия
<i>Повышение эффективности здравоохранения</i>	
Малая эффективность вакцин, узкий спектр их действия. Трудность терапии генетических болезней	Трансгенные микроорганизмы как живые пероральные поливалентные вакцины. Трансгенные вирусы как векторы (переносчики трансгенов) для генетической терапии
<i>Контроль над наследственными заболеваниями и генетическими характеристиками человека</i>	
Трудность лечения наследственных заболеваний	Ранняя пренатальная молекулярная диагностика генетических дефектов и принятие решения о целесообразности продолжения беременности
Накопление в популяции людей с нежелательными генетическими характеристиками	Молекулярная диагностика нескольких эмбрионов, полученных вне организма, и выбор лучшего для дальнейшего развития в организме матери. Клонирование людей с желательными генетическими характеристиками. Получение трансгенных людей
<i>Создание принципиально новых форм жизни</i>	
Необходимость колонизации других планет и распространения жизни во Вселенной	Создание трансгенных организмов, приспособленных к суровым условиям и потребляющих необычные вещества
Возможное исчерпание потенциала эволюции биосферы Земли	Создание форм жизни, основанных на расширенном генетическом коде

* (Velkov, 1996).

или ограниченная фантазия генного инженера, или ограниченное финансирование. *Непреодолимых природных ограничений (как, например, в физике — невозможность достижения сверхсветовых скоростей) в генной инженерии, похоже, нет* — «...все позволено!» [Вельков, 2002]. Риск, связанный с реализацией тех или иных конкретных проектов, носит технический и преходящий характер.

Во-вторых, «прогнозируемые экономические и экологические выгоды от широкомасштабного применения генетически модифицированных организмов очевидны, конкретны и довольно часто выражаются в миллиардах долларов. А опасения, что это может принести вред — неопределенны [Вельков, 2002] и не основаны на реальном, объективном риске».

В-третьих, оценка общественным мнением опасностей развития генетики и генных технологий неадекватно завышена и представляет собой очевидный фактор торможения научно-технического прогресса, который только и может разрешить те кризисные явления, которые возникли в ходе предшествующего развития техногенной цивилизации. «...Риск был сильно завышен... За все время интенсивного и все расширяющегося применения генной инженерии (сейчас студенты осваивают генную инженерию на 3–4 курсе), так вот, во всем мире за 30 лет ни одного случая возникновения опасности, связанной с трансгенными организмами, зарегистрировано не было» [Вельков, 2002].

И наконец, последнее замечание. Взгляд на проблему интеграции генных технологий в социальную жизнь спроецирован здесь от естествознания и технологии к гуманизму и этике. В такой рационалистической и эмоционально нейтральной формулировке, максимально очищенной от этических оценок, влияние генных технологий как культуроформирующего фактора социальной эволюции приобретает вторичную этическую компоненту — безусловно, позитивную. Но достаточно несколько изменить ракурс — и картина существенно изменяется. Сформулируем те же самые проблемы с точки зрения социальной антропологии и этики: «Сможем ли мы создать человека с желудком, как у коровы, переваривающим траву и сено, вследствие чего облегчится решение продовольственной проблемы, поскольку человек перейдет на потребление более низких звеньев пищевой цепи? Сможем ли мы биологически изменить рабочих так, чтобы их данные соответствовали требованиям работы, например, создать пилотов с многократно ускоренной реакцией или рабочих на конвейере, нервная система которых будет приспособлена для выполнения монотонного труда? Попробуем ли мы уничтожить “низшие” народы и создать “суперрасу”? (Гитлер пытался это сделать, но без генетического оружия, которое может скоро выйти из наших лабораторий.) Будем ли мы клонировать солдат, чтобы они сражались вместо нас? Будем ли мы использовать генетическое про-

гнозирование для предупреждения рождения нежизнеспособного младенца? Будем ли мы выращивать для себя запасные органы? Будет ли каждый из нас иметь, так сказать, “банк спасения”, полный запасных почек, печени и легких?» [Тоффлер Э.]. Автора этого отрывка — американского социолога и футуролога Э. Тоффлера — обычно относят к «технологическим оптимистам», возлагающим основные надежды на преодоление кризисных и негативных тенденций современной цивилизации на «рациональную силу научно-технического прогресса, способного к самокорректировке и разрешению своих собственных противоречий» [Порус, 1991]. Тем более показательна общая эмоциональная окраска его вопросов, создающая достаточно тревожный социально-психологический контекст развития новых наукоемких технологий.

Итак, коллизия технологический оптимизм *versus* технологический пессимизм отражает базисную дихотомию современной культуры науки о природе *versus* науки о духе. Там, где когнитивная модель естествознания и технологии видит только решение, способное устранить конкретную угрозу, социология и этика обнаруживают проблему, зачастую — опасную. Это противоречие существовало на протяжении всей истории западной цивилизации, но только с рождением генно-инженерных технологий она приобрела, так сказать, судьбоносное значение для сохранения самоидентичности человечества.

В коммуникационном канале между естествознанием и социогуманитарными науками сталкиваются два потока информации, каждый из которых не является этически и эмоционально нейтральным: позитивно окрашенной информации, исходящей от естествознания, и негативной — с противоположной стороны. Разорвать этот цикл вряд ли возможно и целесообразно. Он есть часть общего гомеостатического механизма, обеспечивающего стабильную и канализированную коэволюцию компонентов глобальной социоэкологической системы — ноосферы.

Образ генетики и генетической инженерии в массовом сознании.

Результаты контент-анализа интернет-ресурсов

Перейдем теперь к социологической реконструкции образа генетики и генных технологий в массовом сознании. То, что генетическая инженерия имеет здесь устойчивый имидж «опасного знания», в доказательствах, пожалуй, не нуждается — достаточно беглого просмотра средств массовой информации, где в любой публикации об успехах и достижениях генетиков обязательно присутствует изрядная доза опасений и страхов «среднего гражданина», этими же успехами и достижениями вызванных.

Позволим привести только одну цитату — в силу ее типичности и распространенности высказанных в ней суждений В. Черноброва: «Успехи генной инженерии переводят человечество в новое состояние. Если из обычной клетки можно вырастить овцу, то можно вырастить и человека? А кем он будет — разумной запчастью? Големом без всякого подобия души? Или душу можно клонировать? А что принесет уже недалекая возможность оживлять динозавров и неандертальцев? А возможность оживлять каждого из нас? Генная инженерия бросила человечеству уникальный вызов». Отметим только достаточно существенный разрыв между действительными возможностями генных технологий и их отражением в СМИ, а следовательно, в сознании отдельного человека и всего общества. Этот разрыв уже сам по себе служит дополнительным источником и катализатором социально-политических конфликтов, в основе которых, с точки зрения экспертов-генетиков и биотехнологов, лежит комбинация недоразумения, непонимания и невежества. Такое объяснение очень последовательно излагается известным российским генетиком Л. Корочкиным (1999).

Современные социология и социальная история разработали несколько методов анализа структуры ментальностей, к числу которых относится и так называемый контент-анализ — исследование частоты встречаемости устойчивых лексических конструкций. Менталитет, ментальность — понятия достаточно многозначные. В настоящем исследовании под этими терминами будет пониматься совокупность психологических стереотипов и установок, характерных для данного индивидуума, социальной группы, общества в целом на данном этапе их исторической эволюции (индивидуального развития). Структура менталитета детерминирует эмоционально окрашенное восприятие реалий окружающего мира и модусы поведения как активную реакцию на факты действительности. В центре нашего внимания будут те компоненты ментальности, которые претерпевают в настоящее время эволюционные трансформации, инициированные и направляемые взаимодействием элементов рационалистической духовной культуры (естествознания и, особенно, биологии и генетики) и уже укоренившимися к этому времени в психике человека социобиологическими (по происхождению) константами [Миронов, 1991; Петрушенко, 2003; Cheshko. et al., 2015]. Мы попытались применить его к анализу сайтов Интернета, так или иначе связанных с темой, вынесенной в заголовок настоящего раздела.

Первая часть исследования (сентябрь 2001) касалась англоязычных источников Мировой сети. Итак, на момент проведения настоящего исследования поисковая система *Yahoo* выявила 1 290 000 *web*-страниц, в которых упоминается термин «генетика (*genetics*)». «Естествознание (*science*)» встречается в 19 600 000 *web*-страницах, а «биология (*biology*)» —

в 2 250 000. Иными словами, биологические исследования в массовом сознании ассоциируются в первую очередь именно с генетикой.

Наибольшее внимание общественности привлекают новые технологии (*technology*) и социальные проблемы (*community*), порожденные развитием генетики, которые достаточно далеко обошли традиционное понимание сфер практического приложения генетических знаний — медицину (*genetics + medicine*) и сельское хозяйство (*genetics + agriculture*).

Среди социальных проблем генетики по степени общественной заинтересованности выделяются, безусловно, политика (*genetics + policy*) и этика (*genetics + ethics*) — 130 000 и 97 800 *web*-страниц соответственно, а также взаимоотношения генетики и генных технологий с религиозными учениями (*genetics + religion*) — 51 400. При этом наибольший резонанс получили вопросы соблюдения прав человека (*genetics + human rights*) и возможной дискриминации, связанной с получением информации о генетической конституции индивидуума (*genetics + discrimination*). Идеологические интерпретации достижений генетиков мало кого волнуют. И все же влияние генетических теорий и созданных на их основе технологий вызывает больше тревоги (*danger* и *risks*), чем положительных эмоций, связанных с потенциальными выгодами (*benefits*), — 67 против 33 пунктов. Для сравнения: из более чем 1,55 млн *web*-страниц, где встречается термин «экология», в 157 000 *web*-страниц он ассоциирован с «благом» (*benefits*) и лишь в 5 (пяти) — с риском или опасностью, причем в этом случае речь идет не об экологии как науке, а о потенциальных отрицательных экологических последствиях каких-либо процессов или событий.

Иными словами, в массовом сознании лексические конструкции, включающие в себя в качестве элемента слово «экология» и его производные, имеют, в отличие от «генетики», безусловно, положительную эмоциональную окраску. Вероятно, этот факт отражает общее падение престижа науки в глазах современного человека, акцентирующего свое внимание на отрицательных сторонах «научно-технического прогресса» (в отличие от общественного сознания второй половины XIX в.).

Необходимо отметить еще одно немаловажное обстоятельство. Как правило, социальные аспекты генетики не существуют независимо друг от друга и от конкретно научной основы, образуя своеобразные «гибридные» ментальные образы. В пользу такого вывода говорит значительное количество *web*-страниц, где отдельные семантические структуры находятся в корреляционной связи друг с другом. По крайней мере, это касается политических и этических аспектов генетики. Семантическая ассоциация между этими аспектами генетических теорий и практических разработок в менталитете достаточно выражена. Если принять мерой ее силы процентную долю *web*-страниц, общих для различных «субпопуля-

ций», то в случае этики и политики этот показатель достигает 16 пунктов (из 100 теоретически возможных). Величина семантической ассоциации для двух рубрик (i и j)

$$C = P_{ij}/(P_i + P_j) \cdot 100\%,$$

где P_i и P_j — численность элементов отдельных рубрик, а P_{ij} — численность элементов, принадлежащих к обоим рубрикам.

Общий вывод: не только степень политизации генетики, как и всего естествознания, и ее вовлечения в этические коллизии, но и уровень этической мотивации (по крайней мере, публично выражаемой) оказывает существенное влияние на модус поведения отдельных личностей и всего общества в целом.

Как ни странно кажется на первый взгляд, достаточно велика ассоциация между политикой и религией (15 пунктов). По всей видимости, это свидетельствует о значительном удельном весе теологических аргументов и мотивации в инициировании тех или иных законодательных мер, касающихся генетики и биотехнологии. Очевидно, идейные связи и взаимовлияния между естествознанием и религией в настоящее время значительно выше, чем представлялось адептам сциентизма. Столь же высокая семантическая ассоциация (20 пунктов) этических и религиозных компонентов генетической проблематики, наоборот, удивления не вызывает и, более того, служит, вероятно, косвенным свидетельством того, что этическая интерпретация оказывается средством коммуникации между политической и религиозной составляющими современного менталитета.

Следующий вопрос касался уже русскоязычных сайтов, т.е. отражения оценки последствий развития науки и высоких технологий общественным мнением на постсоветском политическом пространстве. Использовалась поисковая система *Rambler*, с помощью которой анализировалась тематика *web*-сайтов по состоянию на июнь 2003 г.

Прежде всего попытаемся выяснить частоту встречаемости бренда «опасное знание» и его лексическую ассоциацию с различными областями естествознания.

С этими данными согласуются результаты определения частоты встречаемости слова «страх» на сайтах, посвященных конкретным областям современного естествознания. Так, число сайтов, в документах которых слово «страх» встречается совместно с названием одной из пяти научных дисциплин (генетика, биология, экология, физика и химия), наиболее велико в случае физики и химии (33 и 22% суммарного числа сайтов), тогда как «биологические» сайты заметно уступают им в численности (до 17%).

Как видим, генетика и генные технологии в настоящее время не ассоциируется в СНГ с исключительно высокой степенью риска. Число сайтов, где обнаруживается ассоциация с опасностью, порождаемой научным

знанием, для этих терминов (2482 и 1172 соответственно) значительно уступает и физике (6976), и химии (4851). То же самое касается и одной из самых острых тем, связанных с генетическими технологиями, — клонированием человека и высших животных (1053).

Этот результат может показаться парадоксальным, если учесть те акценты на потенциальной опасности потребления продуктов и лекарств, созданных с использованием генных технологий, кошмарными видениями армий, состоящих из клонов Гитлера, Сталина, Саддама Хусейна, постоянно присутствующих в средствах массовой информации. Отмеченные закономерности детерминируются двумя факторами — доминированием в структуре физических и химических технологий над биологическими (этот разрыв возрастает в менее экономически развитых странах, еще не перешедших полностью в постиндустриальную фазу) и отставанием темпов эволюции менталитета от технологического прогресса.

Реалии Чернобыля перевешивают, очевидно, в настоящее время *потенциальные* (подлинные или мифические) угрозы техногенных катастроф, которые могут исходить от генных технологий. Впрочем, необходимо учитывать и ограничения, налагаемые этим методом на возможность однозначной интерпретации. Мы можем с его помощью выявить лишь корреляционные ассоциации, но смысловые требуют дополнительного содержательного анализа.

Свидетельством этого служит достаточно высокий рейтинг ассоциаций «опасного знания» с экологией (4301) и экономикой (8882). В первом случае объяснением служит негативная смысловая связь между побочными последствиями применения новых технологий, во втором — экономические аспекты тех же самых проблем. Содержательный анализ позволяет выявить, что наибольшие опасения вызывает в обществе потенциальная угроза со стороны генных технологий здоровью отдельного человека, экологической и социально-политической стабильности и безопасности. «Никогда не говорят лишь об одном: будет ли искусственное воспроизведение означать конец природы и торжество лабораторий? Принесет ли массовое клонирование вред окружающей среде? Что произойдет, если весь запас генов окажется у горстки научных организаций?» (25.03.2003) [[http:// www.seu.ru/vesti/2001-04/31.htm](http://www.seu.ru/vesti/2001-04/31.htm)]. Само по себе то, что генетика и генные технологии относятся, с точки зрения простого человека, к потенциально и актуально опасным и даже «страшным» вещам, диагностируется достаточно четко. [http://faces.ng.ru/characters/2000-04-13/5_yaya.ht; <http://www.abramyan.ru/threatsru.htm>].

Так же четко прослеживаются еще две особенности современного восприятия социальных аспектов генетики:

- угроза использования достижений этой науки для преодоления «несоответствия наличного человеческого материала требованиям

современной технологии и условиям деловой активности» и «производства людей заранее заданных типов в массовых масштабах» [<http://rusidiot.narod.ru/big/zinaa/zin2.html>];

- необходимость «нравственного самоограничения ученых и специалистов, которые работают в потенциально опасных для человечества областях знания» [<http://www.netda.ru/sobor/sarov2000nprk.htm>].

Переведем теперь этот квазисоциологический «опрос» в более конкретную плоскость, т.е. попытаемся определить, какие именно генные технологии вызывают повышенный общественный резонанс, его эмоциональный характер, те сферы общественной жизни, с которыми эти технологии ассоциируются. Рекордсменом здесь, безусловно, является клонирование — 57,8 пункта (1 пункт соответствует 1% всех сайтов, где упоминается генетика), а также генная инженерия (20,2 пункта) и использование ее методик с целью создания генетически модифицированных продуктов питания (17,6 пункта). Генотерапия и генодиагностика привлекают существенно меньшее внимание. Их рейтинг равняется 2,2 и 1,6 пункта соответственно.

Политические и этические аспекты генетики и генных технологий, очевидно, наиболее значимы для общественности постсоветского политического пространства. Их рейтинг колеблется от 24 (генодиагностика) до 38 (генетическая инженерия) пунктов. В то же время политические проблемы, связанные с использованием генетически модифицированных продуктов, мало отражены в на *web*-сайтах СНГ (4,1 пункта). Столь же остро, если говорить о развитии генетики вообще, стоят и ее этические аспекты (до 31 пункта). Взаимоотношения генетики и религиозных догматов в целом несколько менее актуальны (примерно 20 пунктов).

Что касается эмоционального ответа на сообщения о достижениях и проблемах этой сферы человеческой деятельности, то в целом положительные и негативные эмоции для наших сограждан пребывают в определенном равновесии. Соотношение сайтов, где развитие генетики и генетических технологий ассоциируется с пользой и вредом, соответственно достигает $\frac{3}{2}$, т.е. в целом преобладают позитивные ожидания. Ассоциация генетики и социального прогресса, с одной стороны, и социального риска — с другой, надежды на спасение или предчувствие катастрофы приблизительно равны друг другу (13–15 пунктов). Наибольшее внимание в этом смысле привлекает использование генных технологий для производства продуктов питания, которое на 39% сайтов ассоциируется с пользой, 22% — благом, 18% — социальным прогрессом. Но в документах, представленных на 41% сайтов, ассоциируется с опасностью, 27,4% — вредом и 22% — социальным риском.

Таким образом, если число *web*-сайтов адекватно отражает численность социальных групп, придерживающихся определенных взглядов,

общественное мнение достаточно благоприятно с точки зрения перспектив развития генных технологий, но его нельзя назвать ультраконсервативным. Эта сфера научно-исследовательских или технологических разработок рассматривается, очевидно, как достаточно перспективная с точки зрения предпринимательской деятельности (до 27–32 пунктов в случае генетически модифицированных продуктов питания, генетической инженерии и клонирования). Однако (парадоксальная ситуация) возможность извлечения прибыли имеет рейтинг приблизительно на $\frac{1}{3}$ – $\frac{1}{2}$ ниже, а коммерческое использование ассоциируется с различными типами генных технологий и того ниже (до 5–6 пунктов), причем коммерческое использование генодиагностики в настоящее время не представлено в русскоязычном секторе Интернета вообще. Возникает естественное предположение, что это отражает некие особенности ментальности постсоветского геополитического пространства — прежде всего Украины и России, но, разумеется, эта тема нуждается в дальнейшей разработке средствами конкретной социологии и социальной психологии групп.

Возможности и опасности военного использования генных технологий достаточно широко представлены в русскоязычных ресурсах Сети (до 29–32 пунктов). Следует, однако, учитывать эти ограничения данного метода (вследствие многозначности понятий «оружие» и «война»), корректнее сделать вывод о высоком рейтинге возможных конфликтов различной природы — экономической, социально-политической, военной, религиозной или этической.

Использование генных технологий в качестве средства устрашения (биотерроризм) представлено относительно меньше (5–8 пунктов). В целом это касается и проблемы генетической дискриминации (5–10 пунктов), наиболее острой на Западе. В то же время величина лексической ассоциации различных генетических технологий и прав человека весьма велика, хотя можно предположить, что в данном случае больший интерес вызывают охрана здоровья и контроль качества генетически модифицированных продуктов, поступающих к потребителю, а не соблюдение политических прав. В пользу такого предположения говорит исключительно высокая ассоциация этой лексической единицы и «генетически модифицированных продуктов» на русскоязычных сайтах — свыше 60 пунктов.

Результат третьей серии исследования, в которой сравнивались русско- и украиноязычные *web*-сайты, оказался несколько неожиданным: спектры частотного распределения сайтов, где встречаются те или иные лексические ассоциации, уже рассмотренные выше, резко различались друг от друга. Поскольку использовалась одна и та же поисковая система, эти закономерности, скорее всего, действительно отражают специфику

распределения внимания, уделяемого в России и Украине конкретным оценкам значения развития генетики для человека и общества.

Судя по результатам, украиноязычные сайты можно охарактеризовать значительно более высокой ассоциацией развития генетики с пользой или благом (до 40 пунктов) в сравнении с русскоязычными (25 пунктов) соответственно. Социальный риск и социальный прогресс менее сильно ассоциированы с генетикой в украинском секторе Сети (0,5 и 6 против 15–16 пунктов). Также более слабое внимание уделяется здесь коммерческому использованию генетики (прибыль — менее 1 пункта, бизнес — 14 пунктов). Связь генетики и политики находит в настоящее время примерно равное отражение как в русскоязычных, так и украиноязычных ресурсах Сети.

В настоящее время вопрос о том, являются ли эти данные симптомом уже сложившихся социально-психологических различий, предвестником таких различий в будущем или же вызвано иными причинами, остается открытым. *A priori*, однако, возможность ассоциированной с пролиферацией генетических технологий дивергенции двух близких социумов не может быть исключена. Во всяком случае, альтернативное восприятие перспектив и опасностей использования генетически модифицированных продуктов питания в США и Западной Европе, например, в настоящее время перешло из социально-психологической сферы в правовое и дипломатические поле и в определенных проявлениях может быть охарактеризовано как антагонизм.

В целом можно предположить, что для наших соотечественников негативное развитие генетики и биотехнологий в первую очередь связано с проблемами технической безопасности и управляемости, и менее — с социальными и психологическими коллизиями. Последние занимают менее значимое место в русско- и украиноязычных секторах Сети, что, с нашей точки зрения, делает ситуацию более неустойчивой с точки зрения развития гражданского общества в Украине в условиях возможного в ближайшем будущем импорта технологий генодиагностики и недооценки общественным мнением порожденных ею проблем соблюдения прав человека как в теоретическом, так и конкретно-правовом аспекте.

Итак, складывается картина достаточно сильных расхождений и конфликтов между двумя имиджами генетической технологии. Как показывают результаты конкретно-социологических исследований, однозначная положительная корреляция между уровнем самооценки образования и уровнем восприятия риска не обнаруживается. Более того, как правило, лица, имеющие профессиональную подготовку в областях, относимых к разновидностям «опасного знания», склонны менее остро воспринимать потенциальную опасность и более высоко оценивать выгоду научно-исследовательских разработок [Вилдавски, Дейк, 1994]. Умеренный или

значительный оптимизм научного сообщества противостоит четкой негативистской реакции средств массовой информации, ряда мощных политических и общественных движений и объединений и т.п. Эти расхождения, если они не обусловлены только недостаточной информированностью общественного мнения, служат еще одним симптомом высокого удельного веса социокультурного и ментального компонентов («опасное знание» третьего типа — по нашей классификации) в формировании социального риска развития этой области знания. Возникает своеобразный цикл в цикле — *методология, теория и практика исчисления риска научно-технических разработок превращаются с учетом дифференцированного социального ответа разных социальных общностей еще в одну разновидность «опасного знания».*

Выше уже говорилось, что генные технологии означают способность человека менять направление собственной биологической эволюции. Этот вывод отражает антропоцентрическую систему приоритетов нашего менталитета. Однако с позиций глобального эволюционизма еще более важно, что *человечество обретает перспективу искусственного конструирования и эволюции экосистем любого ранга — до биосферы включительно, а следовательно, экономика и экология сливаются в единую науку.* Последствия актуализации этого футурологического сценария пока трудно предсказать.

В естественно-научной концепции риска последний является функцией двух переменных: вероятности нежелательного события и тяжести последствий. Проблема состоит в разработке методологии и техники расчета обеих величин. Нас же будет сейчас интересовать другой вопрос: насколько различаются модели восприятия риска, порождаемые наукой и технологией, у различных этно- и социокультурных общностей? Качественная характеристика восприятия риска определяется комбинацией степени выраженности упомянутых выше параметров совместно с уровнем социально-политического интереса к конкретному источнику риска. В соответствии с одной из предложенных классификаций можно выделить девять основных моделей восприятия риска [Steinhauser, 2001].

Первые три комбинации этих параметров можно определить как теоретическое или практическое отсутствие риска:

- вероятность события весьма большая, но тяжесть последствий равна нулю или бесконечно мала;
- вероятность негативного события равна нулю, ущерб — отличен от нуля;
- и наконец, как вероятность события, так и ущерб от него бесконечно малы.

Все остальные ситуации воспринимаются человеком как рискованные.

Дамокл. Тяжесть негативных последствий велика, вероятность нежелательного события, которое к ним приведет, весьма низка. В соответствии с этой моделью оценивается большинство техногенных катастроф типа Чернобыля или взрыв на химическом заводе в индийском городе Бхопал.

Циклоп. Тяжесть негативных последствий велика, вероятность нежелательного события неопределенна. По мнению экспертов — генных технологов, этой модели соответствует, например, внедрение в экологическую систему чужеродного, трансгенного организма.

Пифия. Вероятность нежелательного события и тяжесть его последствий не определены.

Пандора. Степень тяжести последствий и вероятность самого нежелательного события неопределенны, но если оно произойдет, его вредные последствия широко распространятся, и/или будут существовать длительное время, и/или будут необратимыми.

Кассандра. Высокая вероятность нежелательного события и большая тяжесть его последствий, особенно — отдаленных.

Медуза. Вероятность нежелательного события и тяжесть его последствий невелики, но общественный мобилизационный потенциал этого типа риска высок.

По оценке В.В. Велькова, с которой можно в целом согласиться, модели восприятия риска, порождаемого генетикой и генными технологиями, экспертами-генетиками, и биотехнологами, и среднестатистическими «обывателями» альтернативны. Первая из них соответствует типам «Пифия» или «Пандора», вторая — «Медуза» и «Кассандра». Иными словами, восприятие экспертов тяготеет к минимальным или неопределенным оценкам риска при относительно невысоком политическом статусе (по крайней мере — декларативно) проблемы риска генных технологий. Массовое сознание в целом склонно давать наиболее высокие оценки значений риска и присваивать проблеме безопасности высокий политический статус. При этом статус потенциального или реального блага, извлекаемого из использования генных технологий, в глазах экспертов заметно превышает таковой проблемы риска.

Интересно, что, до некоторой степени вопреки последнему утверждению, автор цитируемой статьи заявляет, что последствия развития теоретической генетики и генных технологий «имеют, прежде всего, политическое значение». Но на самом деле это противоречие — кажущееся. Политическую окраску этой проблеме и придает то самое расхождение между объективным «миром научного знания» и субъективным «миром идей», которые в равной мере определяют поведенческие модусы человека. Следующее расхождение касается оценки роли генетических и социокультурных факторов в формировании личности и историческом

развитии отдельных народов и всего человечества. Среди специалистов в области молекулярной генетики и геномики доминирует тенденция располагать значение генетического фактора в формировании личности и эволюции цивилизации ближе к верхнему пределу возможных значений. В массовом сознании оценки более размыты и в сильной мере зависят от политических позиций.

Если подвести итог, то можно, конечно, просто ограничиться утверждением о значительной величине социокультурной составляющей в оценке риска, обусловленного развитием науки и технологии.

Однако рискнем пойти несколько дальше. В данном случае эвристически более плодотворной оказывается оппозиция риск («опасное знание»)/устойчивость. Существование описанных «ножниц» в оценке науки и технологии как источников риска само по себе свидетельствует о реальности проблемы «опасного знания», поскольку отсутствие консенсуса и поляризация общественного мнения предопределяют социально-политическую напряженность и провоцируют инициацию конфликтной ситуации, т.е. нарушают структурную устойчивость социальной системы. За примерами далеко ходить не надо. Достаточно вспомнить, насколько острые формы принимает противостояние сторонников и противников аборт по медицинским показаниям. С развитием репродуктивных технологий течение конфликтов не становится более сглаженным, политическая заангажированность носителей противоположных мнений не ослабевает, а скорее, растет.

В утвержденном Министерством охраны здоровья Украины учебнике медицинской генетики для высших учебных заведений утверждается, что генетика — это не только теоретический фундамент современной биологии, но и «философия жизни вообще и медицины в частности» [Бужієвська, 2001]. Это положение, безусловно, соответствует умонастроениям большей части специалистов и демонстрирует потенциальную силу генетического знания в качестве системного фактора, определяющего траекторию дальнейшей эволюции цивилизации. Это соображение — достаточный аргумент для зачисления генетики в разряд «опасного знания». Значит ли это, что наиболее оптимальным решением был бы перманентный мораторий на развитие генных технологий?

Итак, имеется явная дифференциация ментальности современного человека по признаку восприятия и оценки последствий наиболее динамично развивающихся областей научного знания технологических разработок. Эта дифференциация происходит, так сказать, в многомерном пространстве этнокультурных особенностей, уровня образования и характера профессиональной деятельности, социального статуса и политических убеждений. Различия в понимании того, что является «опасным знанием», какова природа риска, насколько он велик, каким способом его

можно контролировать и пр., весьма существенны. По ряду пунктов кажется, что сторонники различных партий, эксперты и рядовые обыватели, гуманитарии и естествоиспытатели говорят на разных языках, вкладывают разный смысл в одни и те же лексические конструкции. В целом это не является признаком катастрофы. Скорее это свидетельствует об интенсивности эволюции современной ментальности, глубине преобразований фундамента духовной культуры. Юрий Лотман высказал очень глубокую мысль: полное совпадение или слишком глубокие расхождения семантических кодов, посредством которых осуществляется коммуникация между различными индивидами, равным образом исключают получение новой информации в процессе общения. Собственно, *общение* и означает достижение взаимопонимания между участниками (Лотман, 2000). С этой точки зрения устранение фактора риска, т.е. обратной трансформация «опасного знания» в источник силы, а не слабости человека, означает унификацию семантических кодов, используемых различными социальными общностями и отдельными индивидами при описании этой проблемы. И степень социального риска определяется временем и усилиями, необходимыми для достижения взаимопонимания.

Интеграция генных технологий в жизнь современной цивилизации. «Комедия генетики и нравов»

Слово «комедия» (использован заголовок одного из научно-фантастических произведений американской писательницы Лоис МакМастер Буджолд) в заголовке этого раздела, употребленное в своем «высоком» значении, вероятно, наиболее резко подчеркивает основную коллизию, лежащую в основе процессов интеграции науки и высоких технологий в жизнь современного человека, — главная «интрига» социальных и политических конфликтов заключается в столкновении или синергетике нового научного знания с уже существующими элементами духовной культуры, ментальности. Подобного рода конфликты в техногенной цивилизации, как правило, заканчивались изменением «нравов» — этических основ жизни общества.

Мы сейчас привыкли к тому глубокому воздействию, которая генетика и генные технологии оказывают не только на материальные условия жизни современной цивилизации, но и на ментальность, способ мышления современного человека. Но масштабы такого воздействия мы в повседневной жизни не всегда можем себе представить в полном объеме. Подробнее влияние генетики на материальную и духовную жизнь современной цивилизации проанализировано нами ранее в монографии [Чешко, Кулиниченко, 2004].

В 1943 г. Николай Вавилов, больше кого-либо другого заслуживший имя творца методологии и теории «зеленой революции», умирал в сара-

товской тюрьме от дистрофии. По жестокой иронии истории именно в этот год на противоположной стороне земного шара — в Мексике — американский селекционер Норман Борлауг начал практическое воплощение в жизнь основных идей своего советского коллеги — создание новых сортов культурных растений в соответствии с заранее сформулированной моделью на основе данных о наследовании хозяйственно важных признаков, использования генетической информации, хранящейся в банках генов (генетических коллекциях).

В узком смысле этого слова «зеленая революция» — это создание и внедрение карликовых сортов пшеницы, риса и других зерновых культур, обеспечившее в 1955–1970 гг. рост урожайности в странах «третьего мира» в 1,5–2 раза. Однако большинство специалистов и СМИ употребляют это понятие в расширенном толковании — использование новой технологии создания сортов и пород, основанное на знании законов генетики. В этом смысле предтечей «зеленой революции» было внедрение гетерозисных гибридов кукурузы в США в 1933–1950 гг. (подробнее см.: [Глазко, Чешко, 2013], а также материалы, изложенные в первой части настоящей монографии). В целом уже развитие классической генетики смогло коренным образом ускорить и рационализировать процесс селекции. Алгоритм создания нового сорта включает в себя: выяснение механизмов генетического контроля основных хозяйственно важных признаков, влияющих на жизнеспособность, устойчивость и продуктивность; формирование генетических коллекций (по современной терминологии — банков генов), служащих материалом для последующего селекционного процесса; создание модели сорта, т.е. того набора признаков, которые обеспечивают достижение поставленной перед селекционером цели; «конструирование сорта» — введение в его геном (первоначально на основе традиционных технологий — гибридизации и отбора, затем и генной инженерии) тех генов, которые обеспечат реализацию этой модели. В сущности, именно обеспечению теоретических и материальных предпосылок реализации этой схемы была посвящена жизнь Николая Вавилова.

Выше, уже приводились расчеты, сделанные спустя 40 лет Норманом Борлаугом, ставшим к тому времени лауреатом Нобелевской премии мира 1970 г. В соответствии с ними только технологии, созданные на основе классической генетики (т.е. без применения генетической инженерии) обеспечили продуктами питания 6 млрд человек [Глазко, 2002]. Вдумаемся в эту цифру. Если эти расчеты верны, то все население Земли в конце XX в. не умерло голодной смертью только благодаря технологическому прогрессу, основанному на хромосомной теории наследственности.

Взглянем на ту же проблему в несколько ином, биомедицинском ракурсе. По данным Всемирной организации здравоохранения, около 2,5%

новорожденных появляются с различными пороками развития. При этом часть из них обусловлены преимущественно неблагоприятными факторами, а остальные имеют генетическую природу [Баранов, 1998; Фогель, Мотульски, 1990]. К экзогенным факторам можно отнести: биологические (инфекционные заболевания: краснуха, герпес, токсоплазмоз, хламидийная инфекция), физические (радионуклиды и ионизирующее излучение), химические (противоопухолевые и гормональные препараты, наркотические вещества). Генетические факторы пороков развития отражают генетический груз популяции, который проявляется более чем у 5% населения планеты. Примерно 1% генетического груза приходится на генные мутации, 0,5% — хромосомные мутации, около 3–3,5% — болезни с выраженным наследственным компонентом (диабет, атеросклероз, ишемическая болезнь сердца и т.д.). В развитых в экономическом отношении странах Запада генетические патологии занимают до одной трети клинических случаев, заканчивающихся летальным исходом в детском возрасте. К этому можно добавить около 40–50% ранней младенческой (пренатальной) смертности и инвалидности с детства, обусловленных наследственными факторами.

Однако эта модель непрерывно корректируется и пересматривается. Происходит ускоряющаяся постепенная эрозия границ, отделяющих наследственные болезни от заболеваний, имеющих иную этиологию. В отличие от генетической детерминации генетическая предрасположенность позволяет включить в категорию наследственных огромное число мультифакторных болезней (рак, сердечно-сосудистые заболевания, психические отклонения, сахарный диабет и др.), в этиологии которых определяющую роль играет сложный комплекс полигенных и средовых факторов и, более того, — отклонения, которые ранее традиционно рассматривались как результат свободного выбора индивидуума или неблагоприятной социальной среды (алкоголизм, наркомания, сексуальная ориентация, насилие над личностью, суицид и др.). Экстраполяция этой тенденции легко может привести, как замечает Э. Юнгст (Цит. по: [Paul B.D., 1999]), к тому, что все болезни можно рассматривать как наследственные. В свою очередь, такое изменение концептуальных основ теории патогенеза обусловит радикальную революцию в методологии практической медицины, которую некоторые эксперты предсказывают уже через 5–10–15 лет после начала III тысячелетия.

В этом разделе мы не будем рассматривать вынесенную в заглавие проблему в ее методологическом, философском аспекте. Попытаемся реконструировать, как происходит процесс интеграции одной из конкретных генных технологий — предимплантационной генетической диагностики — в практику медицины, а через нее — в повседневную жизнь современного человека. Для отечественного читателя это тем более интересно, что одним из главных героев этой истории является наш сооте-

чественник Юрий Верлинский, окончивший в 1968 г. кафедру генетики и цитологии Харьковского национального университета и ставшего впоследствии основателем и руководителем Института репродуктивной генетики в Чикаго (США).

Вопреки распространенному мнению, в настоящее время не генотерапия или клонирование, а именно предимплантационная генодиагностика (ПГД), дающая возможность селекции эмбрионов в массовом масштабе, способна оказать наиболее мощное влияние на генофонд современного человечества.

Основными элементами технологической схемы ПГД служат тесты, осуществляемые на стадиях оплодотворенной или неоплодотворенной яйцеклетки, а также первых стадий развития человеческого эмбриона — до его имплантации (врастания в матку). Операции предимплантационной генетической диагностики осуществляются в ходе реализации искусственного (экстракорпорального) оплодотворения вне организма женщины [Simpson, Carson, 1992; Verlinsky, Kuliev, 1993; Thornhill, Snow, 2002]. Назначение ПГД, как следует из ее названия, двоякое:

- профилактика наследственных болезней в группах риска; имплантация в матку заведомо здоровых человеческих эмбрионов, свободных от наследственных детерминантов, обуславливающих развитие тех или иных патологий;
- получение стволовых клеток, имеющих определенную иммунно-генетическую специфичность, для трансплантации в организм конкретного реципиента.

Объектом ПГД могут быть полученные с помощью микроманипулятора так называемые полярные тела, или индивидуальные клетки, из дробящегося эмбриона.

Обычно образование половых клеток происходит путем мейоза — клетка-предшественник делится дважды, а ее хромосомы удваиваются только один раз. Таким образом, их число уменьшается вдвое. Нормальное число хромосом со всеми заключенными в них генами восстанавливается при оплодотворении — слиянии яйцеклетки с образовавшейся таким же способом мужской половой клеткой (сперматозоидом). Таким путем обеспечивается постоянство набора генов при половом размножении и возникновение новых комбинаций различных вариантов (аллелей) одних и тех же генов. Однако в ходе образования яйцеклетки цитоплазма (внеядерное вещество клетки) делится неравномерно — почти вся она достается одной из них. Она и становится впоследствии яйцеклеткой. Три оставшиеся маленькие клетки (полярные тельца) в дальнейших событиях участия не принимают. Исследовав их хромосомы и ДНК, можно достаточно точно судить о той генетической информации, которая содержится собственно в яйцеклетке.

На этих стадиях диагностируются все хромосомные и около 30 генных болезней. Методы детекции: *Fish*-гибридизация ДНК-зондами для диагностики хромосомных болезней либо различные варианты полимеразной цепной реакции для диагностики генных болезней.

История метода предимплантационной диагностики ведет свое начало с пионерского исследования Р. Эдвардса и П. Холандса [Edwards, Hollands, 1988], впервые осуществивших определение пола у эмбриона кролика *in vitro* (дословно «в стекле», т.е. вне организма, в искусственной среде) с последующей трансплантацией его в полость матки. Однако практическая реализация поставленной этими исследователями стратегической цели — профилактика передачи наследственных заболеваний от родителей детям в группах риска — стала возможной лишь в начале 1990-х гг., когда была разработана техника полимеразной цепной реакции (ПЦР). Она позволила определять присутствие конкретных нуклеотидных последовательностей в геноме единичных клеток. Метод ПЦР (метод полимеразной цепной реакции, PCR, polymerase chain reaction) является прямым методом анализа ДНК. Эта технология была впервые описана американским биохимиком К. Мюллисом — сотрудником фирмы «Cetus» — в 1983 г. (Нобелевская премия 1995 г.). Она позволяет специфично увеличивать (амплифицировать) количество образца ДНК в десятки и сотни раз [Navidi, Arnheim 1991; Шуть, Кравченко, 2003].

Именно эта методика была использована А. Ханашиде и др. в 1990 г. для выявления специфических последовательностей нуклеотидов для Y-хромосомы при определении пола эмбрионов у супружеских пар с X-сцепленными заболеваниями. Наряду с методикой ПЦР, используется флюоресцентная (нерадиоактивная) гибридизация нуклеиновых кислот. С ее помощью оказалось возможным одновременно определять наличие конкретных хромосом, а следовательно, диагностировать не только пол эмбрионов, но и патологии, связанные с нарушением их числа.

Лидером в практическом использовании новой технологии и ее горячим пропагандистом стал Институт репродуктивной генетики. Благодаря его сотрудникам ПГД стала применяться весьма широко и для профилактики типичных наследственных и хромосомных болезней и (пока в относительно меньших масштабах) для получения доноров стволовых клеток для конкретных пациентов. К маю 2000 г. процедуру ПГД, по данным общества репродукции и эмбриологии человека, прошло 732 человека (ESHRE, 2002). Спустя еще четыре года их число возросло еще более чем в 2 раза. Однако наибольший общественный и политический резонанс вызвали всего несколько случаев применения ПГД-технологий, которые мы и рассмотрим сейчас подробнее.

Чаще всего в этих случаях новая технология использовалась для лечения родственников детей, полученных методом ПГД и экстракорпораль-

ного оплодотворения. Терапевтические процедуры в этом случае предусматривают селекцию эмбрионов или оплодотворенных яйцеклеток для получения материала для трансплантации, иммунологически совместимого с тканями реципиента. Наиболее эффективным этот метод лечения оказывается в случае наследственных гемоглобинопатий (болезней, связанных с нарушением физиологических функций гемоглобина) и других типов нарушения системы кроветворения.

«Случай Мариссы Айалы»

Хронологически первая операция подобного рода была осуществлена в 1987 г. Ю. Верлинским в Чикаго.

17-летняя Анисса Айала страдала тяжелой формой наследственной лейкемии. Как известно, такие заболевания поддаются лечению методом трансплантации клеток костного мозга. Однако в силу редкой формы антигенной специфичности в течение двух лет найти донора не удавалось. Теоретически в соответствии с формулами менделевского расщепления в этой же семье с вероятностью $1/4$ мог родиться ребенок — донор *стволовых*, т.е. неспециализированных, *клеток*-предшественников костного мозга. Дополнительной трудностью было то, что мать девочки за некоторое время до этого подверглась операции вазэктомии, и поэтому была устранена даже теоретическая возможность появления на свет донора. После обращения в Институт репродуктивной генетики были получены яйцеклетки, генотип которых обеспечивал иммунную совместимость с реципиентом. Технология ПГД в данном случае предусматривала использование диагностики с использованием полярных телец после рождения ребенка — девочки, получившей имя Марисса, источником костного мозга которой послужили так называемые провизорные органы (пуповинная кровь).

Анемия Фанкони

Впервые описана в 1937 г. и позднее получила название семейного, апластического миелоза. Болезнь наследуется по аутосомно-доминантному типу и характеризуется угнетением кроветворения. Дети низкого роста, отмечается недоразвитие половых органов, дефекты развития скелета, почечная и сердечная недостаточность и т.д. Первые симптомы развиваются в возрасте от 6 месяцев до 4 лет, причем длительность жизни не превышает 2–5 лет. Единственным радикальным способом лечения является пересадка клеток костного мозга.

После обнаружения этой болезни у дочери супругов Лизы и Джека Нэш (США) Молли в Институте репродуктивной генетики было проведено несколько циклов получения яйцеклеток, искусственного оплодотворения и отбора эмбрионов, обладающих соответствующими показани-

ями (свобода от гена анемии Фанкони и соответствующая генетическая специфичность). В данном случае успех был достигнут только с четвертой попытки и потребовал получения и селекции нескольких десятков эмбрионов с соответствующими генетическими характеристиками. Всего в течение четырех циклов экстракорпорального оплодотворения было получено 30 оплодотворенных яйцеклеток. Анализ ДНК, выделенной из единичной эмбриональной клетки, показал, что шесть из них были гомозиготны по мутации IVS4 + 4A...T в *FANCC*-гене, ответственном за развитие этой патологии. Из оставшихся 24 эмбрионов 5 были совместимы с тканью реципиента по иммунологическим показателям (*HLA*-антигены). Два эмбриона из них были отобраны и имплантированы в матку. Донором стволовых клеток, полученных, как и в случае Мариссы, из пуповинной крови, послужил ребенок, которому было дано имя Адам, родившийся в августе 2000 г.

Вторым примером подобного рода был Чарльз Уиттекер. Родителям этого ребенка, проживавшим в Англии, Британским советом по оплодотворению и эмбриологии в 2002 г. был дан отказ на проведение этой операции, поскольку в это время операции, имеющие целью рождение ребенка для лечения и оказания медицинской помощи третьим лицам, здесь были запрещены. В связи с этим получение и отбор эмбриона был проведен, как и в предыдущих случаях, в Институте репродуктивной генетики в Чикаго.

В Австралии разрешение на проведение ЭКО и пренатальной диагностики для получения стволовых клеток, пригодных для трансплантации 3-летней девочке, также страдающей анемией Фанкони, было оговорено несколькими условиями. Они сводились прежде всего к тому, что полученные таким способом клетки могут быть использованы только для лечения больных братьев или сестер, но не других родственников (отца или матери) или третьих лиц. Во-вторых, допустимо получение только стволовых клеток костного мозга или переливание крови, взятой из пуповины. Изъятие таких органов, как почки, легкие, сердце и т.п., не допускается. Каждый клинический случай должен получать особое разрешение.

Бета-талассемия

Представляет собой одну из разновидностей так называемой болезни Кули, которая впервые была описана в 1925 г. Она очень широко распространена среди населения стран Средиземноморья. Талассемия относится к группе гемоглобинопатий. Болезнь протекает в более тяжелой форме у гомозигот, проявляясь в раннем возрасте и приводя к смерти довольно часто — до достижения возраста 12 месяцев. Как установили молекулярно-генетические исследования, причина развития талассемии связана с нарушением сплайсинга белковых цепей гемоглобина Hb A.

Лечение этой болезни с помощью ПГД предполагалось провести по заявке родителей для лечения Заина Хашми. Они обратились в 2001 г. в Британский совет по оплодотворению и эмбриологии за разрешением провести скрининг типа тканей эмбрионов, полученных в ходе ЭКО, для отбора донора. 23 февраля 2002 г. официальное разрешение было получено. Решение основывалось на рекомендациях комиссии по генетике человека, которые сводились к следующему:

- технология ПГД должна использоваться только для определения специфических и «серьезных» заболеваний;
- не допускается использование данной технологии для обеспечения будущим новорожденным желательных признаков в пределах морфофизиологической нормы, т.е. в евгенических целях;
- указанная технология может быть применена только по таким же показаниям, как другие методы пренатальной диагностики;
- не допускается использование ПГД для выявления эмбрионов — носителей аутомных, рецессивных генов;
- общая концепция применения ПГД для селекции и имплантирования эмбрионов в целях профилактики наследственных заболеваний в настоящее время еще не может быть сформулирована, и решение должно приниматься в каждом конкретном случае.

Таким образом, основной оговоркой этих рекомендаций было требование жестких гарантий недопущения возможности селекции или отбора человеческих эмбрионов желательного пола, по уровню развития интеллекта, физиологическим и психологическим характеристикам.

Однако это решение, в свою очередь, было оспорено в Верховном суде сторонницей движения противников аборта, принадлежащей к так называемой группе «Замечания относительно репродуктивной этики» (Comments on reproductive ethics — CORE). Последовало судебное разбирательство, положительно разрешившееся только спустя еще два года вердиктом суда апелляционной инстанции. В иске утверждалось, что принимать решение такого масштаба может только верховный законодательный орган страны, т.е. парламент. 9 февраля 2004 г. палата лордов Великобритании приняла решение, согласно которому в настоящее время не существует каких-либо норм, запрещающих любые манипуляции с зародышами человека с целью скрининга и отбора в отношении характеристик будущего ребенка. К этому времени, несмотря на судебный процесс, было уже проведено три цикла ЭКО, скрининга и селекции эмбрионов, к сожалению закончившиеся неудачей. Таким образом, в настоящее время этот случай еще далек от своего разрешения.

Кистодный фиброз (муковисцидоз)

Был одним из первых случаев моногенных болезней, при профилактике которых была успешно использована методика ПГД. Эта патология в большинстве случаев детерминируется трехнуклеотидной делецией (*delta F508*). Ген кистодного фиброза связан с регуляцией транспорта жиров в мембранах поджелудочной железы и других органов. Мутация приводит к повышению вязкости секрета поджелудочной железы, желчи и бронхов. В патологический процесс оказываются вовлеченными слизистые, потовые и слюнные железы. В конечном итоге наблюдается диффузное ожирение и цирроз печени, закупорка бронхов. У детей, страдающих кистодным фиброзом, с первых же дней жизни отмечается замедление роста и веса, воспаление органов дыхания, дистрофия и т.д. Современные методы пренатальной диагностики основывались на методике амниоцентеза. Предимплантационный диагноз кистодного фиброза был первоначально проведен на трех супружеских парах, оба члена которых являлись носителями мутации *delta F508*. После экстракорпорального оплодотворения на третий день производилась биопсия отдельных клеток развивающегося эмбриона, ДНК из которых анализировалась с помощью методики ПЦР. Только две яйцеклетки, полученные от одной женщины, были оплодотворены нормально. Анализ ДНК показал, что только одна из них свободна от мутации *delta F508*, тогда как вторая была гомозиготной по этому гену. Яйцеклетки двух других женщин привели к образованию эмбрионов — носителей гена, обуславливающего патологию или имеющего те или иные хромосомные дефекты. Нормальный эмбрион был имплантирован в матку и привел к рождению в 1992 г. девочки, свободной от гена кистодного фиброза.

Болезнь Альцгеймера

В 2000 г. в клинику Института репродуктивной генетики обратилась 30-летняя женщина, генетик по образованию, в семье которой часто встречалась ранняя форма болезни Альцгеймера, являющейся одной из самых тяжелых наследственных заболеваний. Ее особенностью является малозаметное начало в зрелом или старческом возрасте, проявляющееся прогрессирующим расстройством памяти и нарушением функций высшей нервной деятельности. Болезнь впервые была описана в 1902 г., и к настоящему времени выяснилось, что сходные симптомы скрывают два разных типа патологии, связанных с различными генетическими детерминантами. В любом случае наблюдается быстро развивающееся нарушение памяти — снижение запоминания, дезориентация, нарушение внимания, восприятия, многочисленные ложные узнавания и т.п. Больные становятся бесцельно суетливы, у них нарушается речь, а затем на-

блюдаются галлюцинации, кратковременные приступы бреда, судороги и т.п. При этом заболевании разрушается вся структура коры головного мозга, весь мозг уменьшается, наблюдается так называемое альцгеймеровское перерождение нервных волокон. Первый тип болезни Альцгеймера (ранняя болезнь Альцгеймера, пресенильная деменция) начинается в возрасте 45 лет. Нарушение памяти наблюдается уже на ранних стадиях развития болезни, но она развивается постепенно, и человек сохраняет особенности личности, ясное сознание достаточно долгое время. Гены, ответственные за развитие болезни Альцгеймера, расположены на 21 хромосоме — так называемый ген амилоидного предшественника (*APP*), на 14 хромосоме — ген пренисин-1 (*PSN-1*). Амилоид представляет собой естественный продукт физиологического разрушения некоторых белков. Однако мутация гена *APP* приводит к накоплению этого белка в нервных клетках или удлинению белковой цепи амилоида. И в том, и в другом случае молекулы этого белка образуют скопления в клеточных пространствах коры головного мозга в виде бляшек. Главным генетическим фактором поздней болезни Альцгеймера является е-4 аллель гена аполипопротеина *E* (*ApoE*). Этот белок участвует в процессах регенерации нейроглии. Снижение активности ацетилхолинтрансферазы и развитие дефицита ацетилхолина пропорционально, как показал Дж. Пурье, числу копий аллеля е-4 в геноме. Среди всех страдающих болезнью Альцгеймера примерно 1% является носителями *APP*-гена и 25–30% — гена *ApoE*.

Брат, отец и сестра женщины страдали от болезни Альцгеймера, причем ген, нарушающий обмен амилоида *APP*, был обнаружен в генотипе самой пациентки. В институте после получения яйцеклеток и проведения предимплантационной диагностики был произведен отбор эмбрионов свободного от гена предрасположенности к ранней форме болезни Альцгеймера. Применялась схема ПГД с использованием биопсии полярных телец. Поэтому оплодотворенные клетки (донором спермы был муж пациентки) должны были быть заведомо свободными от генов болезни Альцгеймера. Однако успешной оказалась только вторая попытка. С первой попытки отобрать ген-клетку, свободную от *APP*-гена, не удалось. Всего за два цикла диагностики и имплантации были пересажены четыре эмбриона, которые, по данным тестирования, были свободны от мутантных аллелей. Эмбрион был имплантирован в матку матери в начале 2001 г., беременность завершилась рождением здоровой девочки. В возрасте 17 месяцев анализ ДНК, выделенных из лейкоцитов крови, подтвердил, что ее генотип свободен от мутантного гена. Спустя год операция была проведена повторно.

Уже исходя из всего сказанного выше очевидно, что ПДГ-технологии, наряду с очевидными благами, несут и зерно социально-политических коллизий, становятся центрами определенной социальной нестабиль-

ности. Дополнительный стимул для дискуссий дают высказывания самого Юрия Верлинского и некоторых других специалистов. Несколько лет назад он заявил в одном из своих интервью, что в XXI в. методика экстракорпорального оплодотворения и ПГД станут обычной практикой размножения человека, вытеснив все остальные эмоциональные и этические аспекты в сферу удовольствия и развлечения. Такие прогнозы (технически вполне реальные), естественно, не способствуют спокойствию умов. Ответный импульс общественного мнения часто принимает классическую форму реакции на футурошок.

**«Демон Джеймса Уотсона».
Биополитические и биоэтические дилеммы
репродуктивных технологий**

*«...Ученый-философ не должен смотреть на современную
человеческую природу как на нечто незыблемое,
а должен стремиться изменить ее ко благу людей.
Мы все же вправе составить себе идеал человеческой
природы, к которому человеку следовало бы стремиться».*

Илья Мечников, 1907 г.

От влияния современной генетики на материальные основы бытия перейдем к духовным — ментальным и мировоззренческим аспектам того же процесса. В истории науки известны примеры, когда, для того чтобы сделать наглядной, доступной, образной ту или иную концепцию, доведя ее до логического конца и одновременно придав ей некую художественную выразительность, прибегали к средствам, далеким от академической строгости и сухости. «Демон Лапласа», «демон Максвелла», «демон Дарвина»... Вероятно, настало время говорить еще об одной метафоре — «демоне двойной спирали». Можно было бы назвать его и иначе — «Демон Джеймса Уотсона». Одно из самых цитируемых в конце прошлого — начале нынешнего тысячелетия высказываний о сущности той революции в умах, которую вызвала фундаментальная генетика и биотехнология, принадлежит лауреату Нобелевской премии, первому научному руководителю Международного проекта «Геном человека» Джеймсу Уотсону: «Мы думали, наша судьба нисходит к нам со звезд, на самом деле наша судьба записана в наших генах». Ментальной доминантой техногенной цивилизации на современной фазе ее развития стал генетический детерминизм — современный человек верит, что тот, кто полностью расшифрует генетическую информацию, записанную в виде последовательности нуклеотидов в геноме каждого индивидуума, сможет предсказать всю его последующую судьбу, поведение во всех мыслимых и немыслимых ситуациях, положение в обществе, болезни, которыми он заболит, время

их возникновение и пр., и пр. Эта вера стала силой — реальной или виртуальной, определяющей вектор развития современного человечества.

Эта особенность мышления определяет и восприятие социальных проблем, порожденных развитием генетических и репродуктивных технологий. Для коммуникативного взаимодействия генетики и биотехнологии, с одной стороны, и гуманистики — с другой, в высшей степени характерна операция перекодирования: то, что экспертом-генетиком и биотехнологом воспринимается как вопрос обеспечения технической безопасности, экспертом-биополитиком и правоведом формулируется как этическая и политическая дилемма. Рассмотрим наиболее важные из них.

1. Возможное нарушение прав ребенка, связанное с несоблюдением категорического императива И. Канта (философско-методологическая дилемма), — искусственно инициированное рождение ребенка, служащее средством достижения поставленной цели:

а) *появление ребенка, возникшего в результате генно-репродуктивных технологий, как правило, является средством достижения цели, не связанной непосредственно с появлением новой личности, и, следовательно, должно рассматриваться как противоречащее нормам гуманистической этики;*

б) *использование генно-репродуктивных технологий делает возможным появление новой полноценной личности, которая в противном случае вообще не могла бы родиться или ее существование не было бы полноценным и достойным; таким образом, использование таких технологий этически оправданно.*

Современная этика западной цивилизации основывается на категорическом императиве Иммануила Канта, согласно которому человек может рассматриваться как конечная цель, но не средство достижения этой цели. Между тем в настоящее время это противоречие оказывается далеким от разрешения, по крайней мере теоретически. Сделанные перед и после рождения Мариссы Айала средствами массовой информации и некоторыми экспертами пугающие предсказания касательно ее будущего и отношения к ней со стороны близких, по всей видимости, оказались ошибочными, но породили метафору, которая, несмотря на несоответствие действительному положению дел и негативной эмоциональной окраске, ныне циркулирует почти как официальный термин для обозначения детей, рожденных с использованием методики ПГД — «ребенок на запчасти», «ребенок — детский конструктор». Единственной причиной психологического стресса, который могут испытывать такого рода дети, является осознание, что их появление на свет служит чьим-то посторонним интересам, а не объясняется ценностью их жизни как таковой. Однако такого рода психологический шок *a priori*, очевидно, имеет ранг, соответ-

ствующий другим факторам психологического стресса, существующим в настоящее время (невозможность прерывания нежелательной беременности, неполная семья и т.д.). Проблема психологических последствий использования генотерапевтических репродуктивных технологий в настоящее время в целом является все же белым пятном в биоэтике и новой отрасли науки, за которой еще не существует русскоязычного эквивалента зарубежным терминам — *biopolitics, community genetics*. Конкретно научных исследований в области психологии детей, рожденных с помощью репродуктивных и генных технологий, как потенциальных доноров стволовых клеток нам обнаружить, естественно, не удалось.

Если анализировать эту ситуацию с точки зрения выбора оптимальной стратегии [Boyle, Savulesky, 2001] — в рамках прагматической этико-философской традиции, то принимаемое решение приводит к рождению здорового ребенка и/или сохраняет жизнь уже существующего человека. Все возможные альтернативы генотерапии, предимплантационной генетической диагностики например, и т.п. в настоящее время, по крайней мере, могут предотвратить рождение ребенка с патологической наследственностью или гарантировать рождение здорового ребенка, но не решить проблему излечения ряда наследственных заболеваний или предотвращения возникновения эмбриона с патологией.

2. Сохранение генетического разнообразия (эколого-генетическая дилемма):

а) *устранение методами генной инженерии из генофонда генов, снижающих жизнеспособность и приспособленность их носителей, обеспечивает более высокий уровень приспособленности к существующей в настоящее время экологической (а в случае Homo sapiens — и социокультурной) среде и, следовательно, этически оправданно;*

б) *устранение из генофонда отдельных генов ведет к уменьшению уровня генетического разнообразия, снижает адаптивный потенциал в отношении будущих изменений среды обитания и, следовательно, недопустимо.*

Возможность селекции или генетической модификации эмбрионов и яйцеклеток создает реальную опасность снижения генетического разнообразия в генетической популяции как следствие разнообразных культурно-психологических, социоэтических и политических влияний. Значение этого фактора уже проявилось на примере многих стран Азиатского региона, в которых оказалось необходимым принятие законодательных мер, ограничивающих использование методов пренатальной диагностики пола случаями повышенного риска сцепленных с полом наследственных патологий. Причиной последнего шага оказалось нарушение нормального соотношения полов у новорожденных вследствие их различного социального статуса (родители предпочитали мальчиков).

3. Свобода репродуктивного выбора и возможность социально-политического принуждения (прямого или опосредованного) или социокультурного давления при его осуществлении (евгеническая дилемма):

а) *общество имеет право влиять на репродуктивный выбор своих членов постольку, поскольку это обеспечивает право будущих членов общества на качество жизни, достойное человека;*

б) *всякое постороннее давление нарушает права будущих родителей на индивидуальную свободу, а будущих детей — на «открытое будущее».*

Один из возможных социальных рисков репродуктивных и генных технологий заключается в усилении внешнего (социального, культурного, политического) давления на процесс принятия решения о рождении ребенка с теми или иными наследственными характеристиками. Негативное восприятие административного контроля стимулируется историческим опытом, связанным с попытками реализации программ улучшения генофонда человека (евгеника), предпринятыми в США, Скандинавии и Германии в 1900–1950 гг.

Выше мы уже касались социальной и политической истории евгеники, зародившейся как сугубо научное направление, а отнюдь не политическая идеология.

Развитие современных генных технологий создает технологические и социокультурные предпосылки для нового цикла приведения генетической конституции *Homo sapiens* в соответствие с социальными условиями техногенной цивилизации.

Источник такого давления в современных условиях отличается от такового первой трети XX в. Тогда первотолчком послужило развитие генетики человека в широком смысле этого слова. Новые концепции и идеи изменили баланс противоположно ориентированных ментальных установок и стереотипов, активировав те из них, которые оказались созвучны новым научным постулатам. Наиболее значимым оказалось усиление так называемого стереотипа родовой предетерминации — веры в неразрывность кровной связи, соединяющей всех потомков основателя рода в единое целое.

Таким образом, политизация генетики вообще и антропогенетики в частности была вторичной, проистекающей из внедрения логико-научных конструкций в ментальность и превращения возникших эпистемолого-этических гибридов в политическую идеологию. Ныне любое научное исследование и технологическая разработка рассматриваются как изначально политическая проблема, при решении которой научные и гуманитарные аспекты выступают, по крайней мере, как равноправные.

Для либеральной традиции характерны поиски решения в рамках доктрин индивидуальной свободы и права собственности. Система цен-

ностей, ментальных доминант и поведенческих модусов, лежащая в основе этой модели, сложилась в ходе становления рыночно-конъюнктурных отношений и вследствие них. Свой адаптивно-эвристический потенциал она доказала за последние 200–250 лет неоднократно.

Но разработанное либеральной философией решение евгенической методологической дилеммы, как справедливо отметил в недавно переведенном на русский язык исследовании Юрген Хабермас (2003), относится к англо-американской философской традиции. Собственно говоря, оно сводится к формальному обеспечению репродуктивного выбора родителей на основе рецептов и технологий, уже не раз доказавших свою эффективность в рыночной системе. «Исходя из либеральной точки зрения, — пишет Хабермас (2003, с. 90), — представляется само собой разумеющимся, что решения относительно строения генофонда детей не могут подвергаться никакому государственному регулированию, но отдаются целиком на усмотрение родителей. Для подобных позиций характерно рассматривать открытое генными технологиями игровое пространство решений как материальное продолжение свободы воспроизводства и права родителей, т.е. как продолжение основных прав индивида в его противостоянии государству».

Эту особенность англо-американского менталитета и сформированных на его основе идеологических и этических доктрин, явно связанных с рыночными реалиями XVIII–XIX в., выразительно сформулировал оппонент Хабермаса — весьма известный (и популярный) американский философ Фрэнсис Фукуяма (2002): «Согласно экономической теории, совокупный социальный вред имеет место лишь тогда, когда индивидуальные выборы приводят к так называемым негативным внешним эффектам — т.е. затратам третьей стороны, не участвующей в транзакциях... Дети, которые становятся объектами генетических модификаций, не давая на то согласия, составляют самый очевидный класс потенциально терпящей ущерб третьей стороны. Современное семейное законодательство предполагает общность интересов между родителями и детьми и потому предоставляет родителям значительную свободу рук в детском воспитании и образовании. Либертарианцы утверждают, что имеется как бы молчаливое согласие со стороны детей, которые выигрывают от более высокого интеллекта, хорошей внешности и прочих желательных генетических характеристик, поскольку подавляющее большинство родителей хочет для своих детей лишь самого наилучшего. Однако можно вообразить множество случаев, когда определенные репродуктивные выборы будут родителям казаться выигрышными, но самим детям причинят вред».

Но подобная интерпретация плохо вписывается в мировоззрение и ментальность континентальной Европы (прежде всего немецкую) и, до-

бавим, — восточнославянскую. В немецкой и отечественной философии вопросы типа «что есть Человек вообще и нравственный Человек в частности?» нельзя обойти просто, предложив некий абстрактный алгоритм идентификации. К тому же это решение содержит внутреннее противоречие, которое Хабермас не преминул выявить. В либеральной доктрине государство обязано «гарантировать каждому равную свободу развивать этическое самопонимание для того, чтобы в соответствии с собственными возможностями и благими намерениями осуществить в действительности персональную концепцию “благой жизни”» [Хабермас, 2003]. Иными словами, в обществе должно быть обеспечено справедливое взаимодействие индивидуумов, имеющих разные представления о том, что есть Добро и Зло, как относительно самих себя, так и других членов социума. В таком случае столкновение принципов культурно-этического плюрализма и свободы репродуктивного выбора ведет к опасной социально-правовой нестабильности: «Распространение принуждения на генетические структуры будущей личности означает, что любая личность, независимо от того, является ли она генетически запрограммированной или нет, может отныне рассматривать строение своего генома как следствие некоего, с ее точки зрения, предосудительного действия или бездействия» [Хабермас, 2003].

Систему универсальных этических принципов взаимоотношений разумных индивидов, относящихся к одной и той же генеральной совокупности — человечеству, Хабермас обозначает категорией «*этика вида*». Именно она позволяет любой личности идентифицировать себя как члена общества, индивида, входящего в ту совокупность существ, которая именует себя человечеством [Хабермас, 2003]. Этика вида основывается на том, что все индивидуумы имеют некую общую, спонтанно возникшую основу, независимую от постороннего вмешательства. Именно благодаря этому субъекты социальной коммуникации способны смотреть на своих партнеров как на свободных автономных личностей. В рамках *этики вида* решение рассматриваемой здесь дилеммы по Хабермасу заключается в одобрении любой генно-инженерной манипуляции, способной уменьшить страдания эмбриона — носителя наследственной патологии [Хабермас, 2003]. На тех же основаниях любые попытки изменить *нормальный* человеческий геном в целях усовершенствования его обладателя расцениваются как несовместимые с *этикой вида*, поскольку разрушают генетическое единство человечества.

Описанная здесь этическая коллизия совпадает с традиционной теологической дилеммой свободная воля (*versus*) — божественное предопределение. Акт божественного творения необходимо согласовать с ответственностью человека за свои деяния в земной жизни. И предлагаемое немецким философом решение в некотором смысле лежит в русле хрис-

тианской традиции: создав человека по «по образу и подобию Своему», Бог наделяет его свободой воли, а следовательно, и моральной ответственностью за совершенные человеком деяния. Если же человек подвергает модификации собственную природу и тем самым сообщает своим поступкам — и добрым, и злым — однозначную каузальную зависимость от последовательности нуклеотидов в его генах («Наша судьба записана в наших генах»), то тем самым он лишает понятия «Добро» и «Зло» внутреннего смысла, превращая их в функциональные зависимости. «Жизнь в моральном вакууме той формы жизни, которая бы не ведала, что такое моральный цинизм, была бы лишена какой-либо жизненной ценности», — пишет Хабермас (2003, с. 108).

Итак, перед нами два несовместимых решения этой дилеммы и два альтернативных сценария развития человечества:

а) *по первому сценарию человечество принимает на себя ответственность за последующее течение собственной биологической эволюции (название одной из научно-популярных статей на эту тему — «Второе изгнание из Рая»);*

б) *по второму сценарию человечество в целях сохранения собственной биосоциальной идентичности и предотвращения необратимого разрыва в эволюции разумной жизни на Земле накладывает жесткое морально-правовое табу на любые модификации собственной генетической конституции.*

4. Правовой статус человеческих эмбрионов и юридическая идентификация момента возникновения человеческой личности (юридическая дилемма):

а) *использование клеток генетически модифицированных или селективных человеческих эмбрионов — единственный из известных в настоящее время путей лечения многих наследственных и ненаследственных патологий;*

б) *использование клеток генетически модифицированных или селективных человеческих эмбрионов в том случае, когда оно осуществляется после начала формирования человеческой личности, нарушает фундаментальное право каждого человеческого существа — на жизнь.*

Развитие репродуктивных технологий (клонирование организма и эмбриональных стволовых клеток в терапевтических целях) поставило вопрос о социально-этическом и правовом статусе человеческого эмбриона. Иными словами, необходимо определить стадию индивидуального развития, когда он приобретает фундаментальные атрибуты человеческой личности и, следовательно, определенные политические права, прежде всего право на жизнь.

С точки зрения эксперта-гуманитария (этика правоведа, философа) решение этого вопроса в правовом или политическом поле должно исходить

из конкретно-научной информации — времени закладки биологических инвариантов личностных характеристик индивидуума. Однако для биолога трансформация развивающейся оплодотворенной яйцеклетки из совокупности автономных клеток в наделенный сознанием организм — не одномоментное событие, а процесс. Каждая его фаза связана с предшествующими и последующими функциональной зависимостью. Формирование полноценно функционирующего мозга завершается только к концу второго года жизни ребенка; способность перерабатывать полученные ощущения появляется у эмбриона на 30-й неделе после оплодотворения, а реакция на внешние раздражители — на 6-й; начало образования собственных органов человеческого организма (в частности, нервной системы) начинается на 14-й день; начало функционирования генома оплодотворенной яйцеклетки на стадии 8 бластомеров, а объединение геномов мужской и женской половых клеток — через 20 ч после проникновения сперматозоида в яйцеклетку [Курило, 1998]. «Представление о “нормальном геноме”, как и о “нормальном” теле и темпераменте, представляет собой культурный идеал, который подлежит обсуждению», — замечает Б.В. Марков (2002). А следовательно, определение момента «рождения личности» в этом случае оказывается возможным в результате этического выбора и, таким образом, возвращается в социогуманитарное поле. Такая же дилемма встает перед исследователями и в других ситуациях, порожденных развитием современных технологий (конфиденциальность генетической информации, этно- и расогенетические исследования и т.д. и т.п.).

5. Генетическая дискриминация (первая биополитическая дилемма):

а) *генетическая информация о каждом конкретном индивидууме должна рассматриваться как конфиденциальная («тайна личности»), поскольку предоставляет ее обладателю инструмент манипулирования чужими судьбами и может служить средством ограничения de jure или de facto политических прав носителей определенных генов;*

б) *генетическая информация о каждом конкретном индивидууме существенна с точки зрения безопасности и здоровья связанных с ним лиц.*

6. Возможность расслоения генофонда в соответствии с уровнем дохода (вторая биополитическая дилемма — антропологическая):

а) *каждый человек имеет право на устранение из его генома тех факторов, которые снижают уровень биосоциальной адаптации его самого или его потомков;*

б) *геном человека является «достоянием всего человечества» как единого биологического вида, и его модификации в зависимости от экономического ценза или в соответствии с этнокультурными, профессиональными и т.п. критериями недопустимы, поскольку ведут к утрате идентичности человечества.*

Например, стоимость лечения бета-талассемии с использованием технологии предимплантационной диагностики и трансплантации половых клеток в настоящее время приближается к 300 тыс. долл., что делает эту технологию, впрочем, как и другие генодиагностические и генотерапевтические процедуры, малодоступной для слоев населения с относительно низким уровнем дохода. В свою очередь, это создает предпосылки для расслоения единого генофонда человеческой популяции на выделяемые в соответствии с уровнем дохода группы, свободный обмен генами которых затруднен.

Многие инвалидные сообщества, как уже упоминалось, возражают против использования генно-терапевтических способов лечения, поскольку это приведет к элиминации выработанных в течение тысячелетий своеобразных субкультурных типов. Перевод таких субкультур на генетическую основу повысит их статус до уровня собственно культурного типа.

Существуют разнообразные проекты генетической адаптации человека к определенным типам профессиональной деятельности или к выживанию в условиях особых экологических ниш (дно океана, космическая среда и т.п.). В принципе все эти тенденции сходятся в одной точке: автономные в культурном и социальном плане общности могут превратиться в репродуктивно изолированные и отличающиеся друг от друга генетически субпопуляции, а в более отдаленной перспективе — самостоятельные виды разумных существ. Технологические инструменты для этого если и не созданы сейчас, то будут созданы в ближайшее время. Индивидуализм и стремление к освобождению собственной воли от субстанциональных (эволюционно-биологических) ограничений собственного выбора жизненного проекта, свойственные западной (трансатлантической) цивилизации, делают этот тренд почти неизбежным.

«ОПАСНОЕ ЗНАНИЕ» С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ГЛОБАЛЬНО-ЭВОЛЮЦИОННОЙ ПАРАДИГМЫ

Глобально-эволюционный аспект феномена «опасного знания», кажется, в настоящее время можно рассматривать более как потенциальную опасность, чем как актуальный социальный риск, но его последствия слишком важны, чтобы откладывать его исследование «на потом». Темпы развития биологии и генетики несколько раз оказывались смелее наиболее оптимистических футурологических прогнозов (расшифровка генетического кода, например, вместо столетий произошла в течение каких-нибудь 10–12 лет — 1953–1965), а процесс интеграции новых открытий в неготовом к этому обществе окажется катастрофическим без упреждающего развития методологии социального регулирования и создания эффективно действующих систем этических приоритетов.

Реалии научно-технического прогресса ставят под сомнение основной социально-экологический принцип отношений социума и вновь создаваемых технологий — не существует технологий, опасных самих по себе, ситуация риска возникает лишь в результате их использования с неадекватными целями. Иными словами, аксиологическое, ценностное измерение приобретает наукой в процессе использования ее результатов, но не собственно в ходе производства нового знания. Однако в настоящее время само существование биологического вида *Homo sapiens* оказывается коррелятом созданного им же технологического феномена — генетической инженерии.

Траектория биосоциальной эволюции человечества приближается со всей очевидностью к зоне бифуркации. В сфере политического и социально-этического сознания новая эволюционная ситуация воспринимается как бремя глобального выбора. Важнейшими аспектами такого выбора являются следующие.

Выбор оптимального направления биологической эволюции человечества. Необходимым и достаточным условием является создание модели «идеального генома» — той совокупности структурных генов и регуляторных генетических элементов, которые наиболее полно соответствуют представлениям человека о самом себе, *esse homo*. Уже по определению это

потребуется синтеза объективно-рационалистической (естественно-научной) и личностно-этической (гуманистической) методологий. Консервация существующей организации генома человека (мораторий на любые генно-терапевтические манипуляции) или ограничение такого вмешательства защитой существующей «нормы» в этом смысле невозможно отождествить с уклонением от выбора. Ни экологический, ни социальный *status quo* в этом случае не будут сохраняться неограниченно долго. Следовательно, стратегия отказа от необратимых решений «до всестороннего анализа проблемы» оказывается иллюзией — в силу исключаяющей возможность быстрых реконструкций стагнации «невостребованных» областей научных исследований и технологических разработок.

Выбор между обеспечением биосоциальной целостности человечества и его дивергенцией на самостоятельно эволюционирующие типы. Основой последнего сценария может стать, во-первых, дифференциация системы общечеловеческих ценностных приоритетов на «субпопуляции» этических систем отдельных социальных общностей и, во-вторых, экономическая дифференциация социума, создающая неравенство в отношении доступа к генотерапии и другим (достаточно дорогим, с точки зрения потребителя, принадлежащего к так называемому среднему классу) генным технологиям. Эти тенденции еще слишком далеки от стадии биологической дивергенции и репродуктивной изоляции, однако уже достаточно значимы, чтобы стать существенными социально-политическими факторами (проблемы генетической дискриминации и генетической стигматизации).

Сохранение или разрыв с существовавшей до этого культурной традицией в результате распада человечества на различные в генетическом отношении разумные индивидуумы, поскольку последнее будет означать конец линии предшествующей культурной эволюции, превращение духовного достояния современного человека из эмоционально постигаемого в рационально расшифровываемый семантический код.

Исследование феномена «опасного знания» с точки зрения концепций глобального эволюционизма и синергетики выглядит достаточно актуальным с точки зрения футурологических сценариев развития социальной и экологической ситуации на нашей планете и, в особенности, влияния эволюции ментальных и мировоззренческих систем на эволюцию социума и биосферы.

Методология глобального эволюционизма

Идея эволюции существует как бы в трех измерениях — как естественно-научная концепция развития жизни, как методология естественнонаучного мировоззрения и как система установок и стереотипов, глубоко проникших внутрь современного массового сознания (менталитета).

Эволюционная идея, став в XIX в. парадигмой биологии, универсальной моделью познания и объяснения биологических феноменов, конституируется затем как универсальный способ мышления, феномен общекультурного значения. Наряду с углублением самой теории эволюции, превращением в систему постулатов, направленных на обнаружение и объяснение причин, движущих сил и форм эволюционного развития, происходит расширение сферы применимости эволюционных идей как инструмента человеческого познания. Появляется концепция глобального эволюционизма, в основе которой лежит представление об универсальности эволюционных процессов в Макро- и Микрокосме. И действительно, многие феномены и процессы, ранее считавшиеся статичными или обратимыми во времени, ныне втягиваются в орбиту исторического метода исследования, рассматриваются как самоорганизующиеся и саморазвивающиеся системы.

Эволюция, как предполагает концепция глобального эволюционизма, — сложный многоступенчатый процесс, общая схема которого включает в себя стадии [Камшилов, 1974] космологической, химической, биологической (*биогенеза*) и социокультурной (*социогенеза*) эволюции.

На одной из стадий эволюции химического состава литосферы, гидросферы и атмосферы Земли возникают полимерные молекулы с нерегулярной первичной структурой — белки и нуклеиновые кислоты. Уникальной особенностью нуклеиновых кислот является так называемая *конвариантная редупликация* [Тимофеев-Ресовский и др, 1977], т.е. способность к самокопированию (*репликации*) и случайному изменению своей структуры (*мутированию*), которое в дальнейшем также реплицируется. Конвариантная редупликация является необходимым и достаточным условием, обеспечивающим возникновение и протекание процесса *естественного отбора*, поскольку в результате возникает популяция различающихся между собой репликаторов, конкурирующих за источники энергии и веществ, необходимых для собственного воспроизводства. Естественный отбор играет здесь роль информационного фильтра, пропускающего только те изменения генетической информации, которые повышают шансы выживания и репродукции репликаторов-генов.

В ходе антропогенеза возникает автономная система передачи и воспроизведения информации — через воспитание и обучение (социальная наследственность), что многократно ускорило (на несколько порядков) процесс эволюционных изменений. Как пишет В.Н. Леонтьева в своем исследовании, посвященном философскому и антропологическому анализу культуротворческого процесса, последний изначально предполагает как свои имманентные компоненты *креативную* и *репродуктивную* составляющие, связующим звеном между которыми, по ее мысли [Леонтьева, 2003], является *аффирмация* (от лат. *affirmo* — утверждение)

«в интересубъектном пространстве диалога и, следовательно, в ценностно-смысловом универсуме». Не впадая, на наш взгляд, в излишний «биологический редуccionизм», можно констатировать принципиальное соответствие этих культурологических категорий категориям генетико-эволюционным — *изменчивости, наследственности, фиксации*. Таким образом, культуру можно рассматривать как результат эволюционной трансформации адаптивной стратегии *Homo sapiens*, связанной с возникновением нового способа хранения и передачи от поколения к поколению необходимой для выживания информации.

Данное Ю.М. Лотманом определение культуры как ненаследственной информации [Лотман, 2000] нуждается, следовательно, в уточнении: не наследуемой биологическим путем. Можно предполагать, что содержание этих понятий отражает некие инварианты глобально-эволюционного процесса, общие для всех форм эволюции самовоспроизводящихся систем.

С иных позиций инвариантность механизмов генетической и социокультурной эволюции констатирует И.В. Бестужев-Лада, считающий эту аналогию достаточно эвристичной и доказательной, чтобы включить ее в учебное пособие по социальному прогнозированию (очевидно, возможные упреки в «биологизаторстве» его не слишком пугают): «Если уподобить человеческие представления своего рода “популяциям идей”, то рутинные мысли окажутся схожи с “нормальными особями” подобной популяции, а новаторские — с мутантными. И чем оригинальнее идея — тем отвратительнее представляется “мутант” нормальным особям, причем их отвращение к нему вполне рациональное, поскольку скорее всего или чаще даже почти наверняка мутант — всего лишь урод, потомство которого, если дать ему расплодиться, может привести к гибели соответствующую популяцию. Однако столь же хорошо известно, что мутация (не всякая, конечно, а оптимальная для изменившихся условий) — двигатель прогресса. И все же, как мы только что указали, почти всякий мутант — урод, грозящий гибелью. Поэтому, на всякий случай, отношение ко всем мутантам — активно негативное. По этой, довольно яркой, на наш взгляд, аналогии та идея, порождающая нововведение, которая действительно не гибельна, а позитивна, конструктивна, должна обязательно пройти возможно более суровый искус, выдержать испытание на закалку, на неприятие. И если успешно преодолет, — значит, жизнеспособна. А если нет, — значит, нежизнеспособна» [Бестужев-Лада, 2002].

Итак, в культурной эволюции человечества естественный отбор оказывается в состоянии играть по сути дела ту же роль, что и в биологической. Если в распоряжении людей появилась новая информация, которая существенно повышает их шансы на выживание и продолжение рода, то, используя ее, они могут иметь более многочисленное потомство, которому и передадут свое знание. Распространение информации в этом слу-

чае не ограничено биологическим размножением, что и объясняет на порядок более высокие темпы культурной эволюции [Меркулов, 1996]. «Культурная эволюция — процесс гораздо более быстрый, чем биологическая эволюция. Один из ее аспектов — глубоко заложенная в человеке (и странным образом — *ламаркистская*. — *Выделено нами*) способность к культурной эволюции путем передачи от одного поколения к другому накопленной информации, в том числе моральных (и аморальных!) критериев оценок», — писал Э. Майр (1981).

В таком контексте эволюция человека принципиально двухкомпонентна:

- *биологическая эволюция*, связанная с передачей генетической информации, закодированной в геноме в виде последовательности нуклеотидов молекулы ДНК;
- *социокультурная эволюция*, связанная с передачей информации путем подражания и обучения. Эта вторая форма эволюции является специфической для человека.

Новая форма эволюции — социокультурная — разделяется на два потока: эволюцию общества и эволюцию культуры. Однако все они основываются на одном и том же способе хранения и преобразования информации. Поэтому, признавая свойственную эволюции общества и эволюции культуры специфичность (прежде всего функциональную), приходится говорить о единой — социокультурной — форме эволюции.

Альтернативную точку зрения излагает российский культуролог М.С. Каган (2001). В концепции последнего, становление человека есть результирующая трех составляющих — биологической, социальной и культурной.

При этом под культурной здесь понимается совокупность «всех форм генетически не закодированной деятельности человека» [Каган, 2001]. Сам процесс антропогенеза есть «высвобождение некоего обезьяноподобного существа из-под власти генетического способа кодирования и передачи поведенческих программ» [Каган, 2001, с. 61].

Функции социогенеза и культурогенеза принципиально различаются. Социализация индивидуума обеспечивает его интеграцию в уже существующую систему общественных отношений, т.е. формирует его ментальность на надличностном уровне. Овладение культурой, напротив, обеспечивает индивидуализацию человеческой личности, формирует социокультурное многообразие персонифицированных членов социума. Именно благодаря культуре социальная роль индивидуума, с одной стороны, адаптируется к его биолого-генетическим особенностям и, с другой, реализуется на основе выбора из некой совокупности ценностей, накопленных культурой. Таким образом, социум оказывается здесь некоторым аналогом экологической системы, в которую интегрирован человек.

Уже в процессе социо- и культурогенеза возникает технология, производство, которая вначале имеет функцию обеспечения выживания человека и удовлетворение его индивидуальных и групповых потребностей, сохраняя свою соподчиненность специфическому для *Homo sapiens* способу передачи и преобразования информации — социальному наследованию, о котором говорилось выше.

Понятие *коэволюции* — сопряженного эволюционного развития биологических объектов различной степени сложности — оказалось применимым к явлениям нескольких уровней организации жизни — от молекулярно-генетического (эволюция кодирующей и регуляторной молекулярно-генетических структур различных уровней сложности, в ходе которой формируется геном как согласованно действующая совокупность функционально дифференцированных генетических детерминантов) до популяционно-видового и биоценотического (взаимодействие любых видов, являющихся членами одного и того же биоценоза) и социогенеза (Родин, 1991). Генезис самого явления коэволюции связан с образованием взаимозависимых эволюционирующих систем, прямой обмен информацией между которыми невозможен или, по крайней мере, затруднен и редок. В этом случае возникает механизм, обеспечивающий взаимную адаптацию таких систем и их интеграцию в новое целостное образование. Таким механизмом в биологической форме эволюционного процесса выступает естественный отбор. Именно коэволюция есть необходимое условие происхождения целостных систем различных уровней сложности и различной природы с присущими каждому из них специфическими формами гомеостаза — геномов, биоценозов, биосферы, социумов и т.п.

Таким образом, формируется система, состоящая из сопряженно эволюционирующих автономных элементов (подсистем), для которых характерна специфическая форма и особый механизм эволюции:

НЕЖИВАЯ ПРИРОДА → БИОСФЕРА → СОЦИУМ → ТЕХНОЛОГИЯ.

В этой схеме каждый последующий элемент связан с предыдущим генетической преемственностью, представляя собой одну из заключительных фаз предшествующего этапа глобального эволюционного процесса.

Однако десинхронизация скоростей эволюции участвующих в ней автономных подсистем, как хорошо известно биологам, хотя бы бегло знакомым с основными положениями синтетической теории эволюции, неизбежно означает нарушение основанного на взаимных приспособлениях экологического или социального гомеостаза; служит предвестником глубокой революционной дезинтеграции и метаморфоза сложившейся до этого структурно-функциональной организации.

Следствием этого оказывается процесс перманентной и прогрессирующей автономизации наиболее быстро изменяющейся системы. Эту

закономерность можно считать общим законом сопряженно эволюционирующих синергетических систем.

Основные закономерности коэволюции взаимозависимых открытых, неравновесных, самовоспроизводящихся объектов можно, таким образом, обобщить в виде двух постулатов.

1. Непременным условием обособления новой автономной системы с присущей ей специфической формой эволюции является возникновение независимого способа кодирования, репродукции и преобразования информации (Jantsch, 1980; Карпинская и др., 1995; Баксанский, 2001), необходимой для поддержания их структуры и воспроизводства.

2. Из двух сопряженно эволюционирующих автономных систем активная роль принадлежит обычно той, которая обладает потенциальной способностью к более быстрой адаптивной эволюции.

В целом эти два постулата вполне применимы и к связке объектов (процессов) человек (биогенез) — социум (социогенез) — технология (техногенез).

Применительно к живым организмам этот принцип сформулировал И.И. Шмальгаузен, постулировавший возрастание независимости индивидуального развития от изменений внешней среды как один из доминирующих векторов прогрессивной биологической эволюции. Аналогичная тенденция возникает и в связке ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ → СОЦИУМ, где она реализовалась в виде свойственной *Homo sapiens* (по крайней мере, со времени так называемой неолитической революции) адаптивной стратегии преобразования окружающей живой и неживой природы.

Параллельное существование протекающих с различными скоростями биологической и социокультурной форм эволюционного процесса и глобальная проблема коэволюции человека и природы могут рассматриваться не только в философской, но и в конкретно-биологической проекции — как исследование механизмов генно-культурной коэволюции.

Сеть прямых и обратных влияний трех человекоразмерных коэволюционирующих систем исключительно многомерна. «Человекоразмерность» есть «атрибут исторически развивающихся систем с включенным в них человеком и человеческой деятельностью» [Степин, 2000].

Биологическая эволюция определила генетически детерминированные особенности восприятия *Homo sapiens* окружающего мира (например, основную часть поступающей извне информации человек получает посредством зрения и слуха) и поведения в этом мире, обеспечившем ему выживание. Таким образом, она оказалась серьезным формообразующим фактором по отношению к архаичной культуре, первичной предпосылкой процесса познания человеком окружающего мира, развившегося впоследствии в особый тип познавательной деятельности — науку. Иными сло-

вами, первоначальный эволюционный импульс при переходе от собственно биологической эволюции предков *Homo sapiens* к антропогенезу выглядит следующим образом: Природа → Общество → Наука. С развертыванием социальной истории наука как основной источник знаний об окружающем мире обеспечила поток информации в направлении Природа → Наука → Общество и создала основу для технологии. Тем самым значительно усиливается и расширяется канал обратного влияния Общество → Природа. Цикл замыкается.

При этом естественно-научные знания вообще и биологические в особенности приобретают все большее непосредственное значение для человека. Это имеет два важные следствия.

Во-первых, усиливается обратное (через систему этических норм и ценностей) влияние общества на науку: на отбор направлений дальнейших исследований, с одной стороны, и на форму, а отчасти — и на содержание научных теорий и методологию фундаментальной науки (Общество → Наука) — с другой [Чешко, 2001, 2002].

Во-вторых, формируя особенности мировоззрения, наука в той или иной степени влияет и на характер и направление воздействия Общество → Природа, тем самым канализируя возможные сценарии физической и биологической эволюции.

Десинхронизация биологической и социокультурной эволюции в антропогенезе

Генезис феномена «опасного знания» начался, скорее всего, одновременно с зарождением самого человека разумного (*Homo sapiens*) — приблизительно 100 тыс. лет назад. Дихотомия глобального эволюционного процесса на биологическую и социальную составляющие неизбежно предполагает возникновение между ними отношений взаимозависимости и сопряжения исторических изменений — первоначально в виде генно-культурной коэволюции.

Как предполагает известный российский культуролог Ю. Бородай, социокультурная преддетерминация человеческого поведения возникла как эволюционно-биологическая адаптация к стадному образу жизни в сочетании с простейшими орудиями нападения и защиты. Ранее аналогичную мысль высказывали различные исследователи. Первым ее автором можно, очевидно, считать одного из основоположников современной этологии (зоопсихологии) и социобиологии, лауреата Нобелевской премии Конрада Лоренца (1994). В осовремененном виде это предположение сводится к следующему. Агрессивность человека является биологической чертой его природы. У высших животных агрессия инстинктивно уравнивается ее торможением. У человека это рав-

новесие нарушается уже вследствие возникновения искусственных орудий нападения — каменных топоров и пр. Превосходство человека относительно других биологических видов изменяет направление действия естественного отбора в сторону интенсификации внутривидовой агрессии [Горелов, Горелова, 2004]. Возникновение этики и морали (первоначально в виде совокупности табу и запретов) оказывается, с этой точки зрения, социокультурной адаптацией, позволившей человеческому обществу избежать деградации и вымирания (в чисто биологическом смысле этого слова).

Если согласиться с этой гипотезой, мы должны сделать два вывода. Во-первых, культура есть тот элемент в системе Наука — Природа — Социум, который обеспечивает сопряжение биологической и технологической форм эволюции.

Во-вторых, в самый момент своего зарождения технология уже стала источником «опасного знания». Возник «тупик в биологической эволюции некоторых видов приматов — тупик непреодолимого противоречия сексуальных влечений и инстинкта самосохранения» в сообществе (уже не в стаде) эротически возбужденных и вооруженных орудиями убийства себе подобных особей [Бородай, 1989].

Вторая фаза генезиса — неолитическая революция (приблизительно 7–10 тыс. лет назад, т.е. возникновение земледелия и скотоводства, когда, собственно говоря, и возникли предпосылки для идеи об угрозе, исходящей из приобретаемого человеком знания. Из книги Бытия четко следует, что именно обретение способности к познанию мира не только делает человека равным Творцу («*один из нас*» [Бытие, 3: 22] — говорит Бог об Адаме, вкусившем с Древа Познания), но и обрекает его на неустанную деятельность по преобразованию этого мира: «...проклята земля за тебя; со скорбью будешь питаться от нее во все дни жизни твоей. Терние и волчцы произрастит она тебе; и будешь питаться полевой травой. *В поте лица твоего будешь есть хлеб*, доколе не возвратишься в землю, из которой ты взят; ибо прах ты, и в прах возвратишься» [Бытие, 3: 17–19]. Курсив наш. — Авт.)

«Человек — пленник природы, но несмотря на это свободен в своем мышлении», — писал Э. Фромм (1992). В культурной традиции человечества сохранилась память о важнейшем поворотном пункте эволюции жизни на Земле — рождение Разума, способного познать и преобразовать мир. И это воспоминание имеет, безусловно, трагическую окраску, ибо вместе со Знанием родился Риск, вместе с желанием перестроить Вселенную на основах Добра — возможность его разрушить по Злой воле или в силу неполноты Знания. И еще одна констатация. Знание в библейской традиции — это предпосылка понимания того, что есть Добро и что есть Зло.

В соответствии с распространенным мнением, обоюдная зависимость обоих факторов эволюционного процесса — генетической и социальной наследственности — была особенно сильной в начальный период становления человека и социогенеза и затем все более ослабевала в силу значительных различий скоростей биологической и социальной форм эволюции.

О дисгармонии социальных основ человеческого поведения и его биологической конституции, унаследованной им во время миллионнолетней эволюции, как о результате значительной разницы скоростей биологической (более медленной) и социально-культурной эволюции писал уже Илья Мечников в «Этюдах о природе человека» и «Этюдах оптимизма» в самом начале XX в. [Мечников, 1923].

С точки зрения современной теоретической генетики прямые доказательства генно-культурной коэволюции на этническом и родоплеменном уровнях начали появляться в последние десятилетия XX в. Именно тогда были описаны наследственные факторы, преформирующие в племенах бушменов и индейцев агрессивную или миролюбивую реакцию индивида на возникновение конфликтной ситуации. Этот ген (*DRD4*) контролируют рецепторы одного из медиаторов (нейротрансмиттеров) — допамина. Ген *DRD4* существует в нескольких альтернативных состояниях (*аллелях*), одно из которых предопределяет импульсивное, гиперактивное, а другой — спокойное поведение в ответ на действие внешних раздражителей. Частота обоих аллелей коррелирует с доминирующим характером поведения, ставшего у племени культурной нормой, — воинственным или миролюбивым, установкой на обострение конфликта или уход от опасности [Ding Y.C. et al., 2002]. Выяснить, какой из двух факторов — генетический или социальный — был первичным, а какой — производным, на самом деле не представляется возможным. С одной стороны, случайные генетические различия между племенами могли задать общее направление социальной и культурной эволюции. С другой — различие в доминирующих в родоплеменной общности социокультурных модусах неизбежно отражается на коэффициентах отбора соответствующих аллелей. В конечном итоге социокультурные трансформации отражаются на частоте соответствующих генов, а численное преобладание тех или иных генетических детерминантов является дополнительным условием стабилизации или неустойчивости общего направления исторического развития.

По предположению Н.Н. Моисеева, в ходе неолитической революции направление генетической составляющей антропогенеза раздвоилось [Моисеев, 2000]. Скотоводческие племена нуждались в постоянных перемещениях в пространстве, поиске новых пастбищ, завоевании новых территорий. Адаптивной стратегией подобных племен являлась неограниченная экспансия.

Земледельческие цивилизации скапливались в долинах рек, выживание общества при этом предполагало жесткие ограничения агрессивности и способность к безоговорочному подчинению занимающим более высокое положение в социальной иерархии индивидов в условиях высокой плотности населения. Адаптивная стратегия в этом случае подразумевала гармонизацию отношений с природной и социокультурной средой.

Соответственно этому «гены риска» и пассионарные генотипы должны были накапливаться в скотоводческих, а альтернативные аллели — в земледельческих этносах. Однако западная (техногенная) цивилизация сочетает в себе черты и того, и другого культурного и биологического архетипа. Очевидно, и возникла она в результате столкновения и интеграции в единую биосоциальную систему земледельческих и пастушеских культур. Именно в результате этого могла возникнуть качественно новая адаптивная стратегия, которую можно назвать стратегией *устойчивой экспансии*. Сочетание консервативно-охранительных элементов земледельческой цивилизации с агрессивно-ассимиляторскими «культур-генами» пастушеских племен сформировало систему социокультурного гомеостаза, основанную на согласовании противоположно действующих факторов. Это и был зародыш современной техногенной цивилизации. Логика отношений с иными племенами и средой обитания в целом оказалась инвариантом, обеспечивающим выживание западного человека в условиях, когда природные ресурсы и возможности самовосстановления биосферы еще значительно превосходят человеческие потребности. При этих условиях природные опасности и социальные риски преодолеваются в результате дальнейшего расширения и углубления познавательно-преобразовательной деятельности человека во времени и пространстве.

Такой исход не был, судя по всему, предопределенным и неизбежным результатом антропо- и социогенеза. Равным образом выживание того или иного типа культуры, ее приспособление к окружающей среде, вероятно, не обязательно ведут к гегемонии науки как основы существования человека. Об этом свидетельствует хотя бы история цивилизаций доколумбовой Америки, где наука оставалась не связанной с процессом экспансии, поскольку функционально ассоциировалась преимущественно с обслуживанием религиозного культа и не была вовлечена в технологический прогресс ведения военных действий [Козлова, 2000]. Однако очевидно и другое обстоятельство: каждый раз при столкновении какого-либо общества с техногенной цивилизацией контакт перерастал в конфликт, а последний завершался гибелью, ассимиляцией или трансформацией традиционного общества.

В начале XX в. Вернер Зомбарт использовал аналогичные идеи в своем анализе генезиса современной ему стадии буржуазно-капиталистической цивилизации.

тической цивилизации [Зомбарт, 1924]. Человек Средневековья (XII–XIV вв.) не проявлял особой заинтересованности в накоплении денежных средств: «сколько человек расходовал, столько он и должен был заприходовать». Произшедший затем в XV в. перелом, прежде всего во Флоренции и других областях Италии, был обусловлен, по мнению В. Зомбарта, не столько религиозными или экономическими трансформациями, т.е. действием социальной среды, сколько наличием биологической предрасположенности, «унаследованной от предков». Он полагал, что существуют личности двух типов: «предприниматели» — люди, более приспособленные к капиталистической экономике, завоеватели по натуре, первооткрыватели, склонные к рискованным предприятиям, основатели (капитализма) и «торгаши» («мещане»). Существование этих типов личности как в индивидуальном, так и в групповом отношении предопределено генетически и представлено двумя формами альтернативного поведения. Наследственность играет определяющую роль и в судьбе конкретных индивидуумов: В. Зомбарт пишет о наследственной предрасположенности Дж. Рокфеллера, который вел книгу расходов с детских лет. Байрону же, будущему лорду, даже мысль об этом показалась бы безумием. А групповые отличия оказываются настолько важными, что В. Зомбарт считает возможным даже говорить о народах «со слабой предрасположенностью к капитализму» (готы, кельты, испанские иберы), народах — героях и предпринимателях (римляне, норманны, англичане и французы) и народах — торговцах, купцах (флорентийцы, евреи, жители равнинной Шотландии).

Альтернативное объяснение движущих сил генезиса техногенной цивилизации предложил другой немецкий социолог — Макс Вебер. Основную роль он отводил не генетическим, а культурным факторам — становлению протестантизма со свойственным последнему особым типом ментальности. Однако и в этом случае новые «культур-гены» фиксируются вслед за этим в результате авторепликации — социального наследования. В конечном итоге, как мы видим, логика и методология Вернера Зомбарта и Макса Вебера основываются на одной принципиальной схеме, хотя и различаются по форме. Эта схема не противоречит и концепции Н. Моисеева, и последним данным молекулярной генетики.

Необходимо только сделать одну важнейшую, на наш взгляд, оговорку. Достаточно часто действие обоих компонентов генно-культурной коэволюции (биологического и социального наследования) оказывается синергетичным, взаимно усиливающим друг друга, а поэтому и трудно различимым. Социальная история США — прекрасная иллюстрация этого тезиса. С одной стороны, высылка в американские колонии лиц, вступивших в конфликт с господствующим социально-политическим порядком. Затем — добровольная эмиграция в ставшие независимыми

Соединенные Штаты всех способных оставить насиженное место ради весьма рискованного поиска «лучшей доли» за океаном. И наконец, освоение чужой страны, экспансия зарождающейся нации на Дальний Запад, дух пионеров-первопроходцев. Селекция носителей соответствующей биологической наследственности и благоприятный культурно-психологический контекст действовали в одном и том же направлении. Аналогичные процессы имели, очевидно, место и в истории России и Украины (Запорожское и Донское казачество, освоение Сибири и Дальнего Востока).

Как бы то ни было, тот глобальный кризис, к которому подошла техногенная цивилизация, в сущности, есть следствие «родовых меток питекантропа» (выражение Н.Н. Моисеева), «несоответствия поведения человека тем техническим возможностям второй природы, которые открывает цивилизация» [Моисеев, 2000].

По мере прохождения последовательных стадий социо- и культурогенеза развитие культуры и форм хозяйственной деятельности человека обуславливают соответствующие изменения в экосистемах, а последние, в свою очередь, изменяют условия экономической деятельности, шкалу этических приоритетов, мотивацию и направление человеческой деятельности — все то, что принято называть духовной и материальной культурой. В размах развиваемого здесь коэволюционно-экологического подхода конфликт между социо- и техногенезом конституировался как экологический кризис.

Как утверждал Н.Н. Воронцов, в истории человечества насчитывалось по крайней мере четыре таких кризиса [Воронцов, 1999].

Первый — так называемый *кризис консументов*. Консументы — организмы — потребители органических веществ, синтезированных зелеными растениями за счет солнечной энергии. К числу консументов относятся и крупные млекопитающие, бывшие основным источником питания первобытного человека. Этот кризис включал вымирание крупных животных (мамонт, пещерный медведь, пещерный лев и пещерная гиена) в результате чрезмерного промысла первобытным человеком и был непосредственно связан с действием антропогенных факторов. Он завершился, как уже говорилось, приблизительно 10 тыс. лет назад так называемой *неолитической революцией* — переходом человечества от охоты и собирательства к животноводству и земледелию, т.е. к созданию искусственных экосистем — *агробиоценозов* — совокупности организмов, обитающих на землях сельскохозяйственного пользования.

Развитие технологии примитивного подсечного земледелия привело к падению биологической продуктивности используемых человеком экосистем и возникновению следующего экологического кризиса — опусты-

нивания значительной части земной поверхности. Результатом этого кризиса стало, во-первых, расширение ареала человека в результате миграции для освоения новых, неистощенных еще земель и, во-вторых, переход к поливному земледелию там, где было возможным, — в долинах великих южных рек — Нила (Египет), Тигра и Евфрата (Месопотамия), Янцзы и Хуанхэ (Китай), ставших колыбелями наиболее древних цивилизаций. Поливное земледелие означало заметный рост урожайности и численности человечества. Однако в результате вновь оказалось нарушенным экологическое равновесие, и начался новый цикл падения биологической продуктивности, связанный с интенсификацией процесса опустынивания: длительное применение искусственного орошения ведет к засолению почвы, уничтожение травяного покрова домашним скотом, особенно козами — возникновению песчаных пустынь. Экологический кризис поливного земледелия разрешился в результате освоения неорошаемых земельных угодий.

Современный глобальный экологический кризис — тема особого разговора. Уже из его названия следует, что разрыв между темпами социо- и техногенеза оказывается столь велик, что наступают глобальные необратимые изменения в биосфере, ведущие к ее деструкции или переходу в новое стационарное состояние, несовместимое с условиями жизнедеятельности человеческого организма. Таким образом, культурогенез, выполняющий роль связующего звена между биологической эволюцией и научно-технологическим развитием, не справляется со своими функциями.

Глубина и острота коэволюционной составляющей в нынешнем глобальном экологическом кризисе усиливается в силу самопрограммирующего влияния предшествующей истории развития взаимоотношений элементов системы Природа — Общество и Культура — Наука и Технология.

Внедрение новых, основанных на законах классической генетики технологий селекции («зеленая революция») в сельском хозяйстве в 1930–60-е гг. (гетерозисные гибриды, карликовые сорта зерновых и т.п.) повлекло за собой адекватные изменения как структурно-экономической организации, так и ментальности фермеров и бизнесменов. На первый взгляд, не столь уж судьбоносная особенность вновь созданных сортов и гибридов (высокая отзывчивость на использование высокой агротехники, применение удобрений, пестицидов и пр.) в точке бифуркации задали направление эволюции сельскохозяйственного производства на несколько десятилетий. Прежде всего началось создание специализированных семеноводческих фирм. Вытеснение местных фермерских сортов и пород привело к значительному падению величины генетического разнообразия. Значительно выросла энергоемкость аграрного

производства, химическая индустрия получила достаточно мощный стимул. Фермерская психология, отличающаяся большим консерватизмом, стала более открыта к возможности использования противоречащих традициям и «многовековому здравому смыслу» научно-исследовательских разработок. И все это вместе ужесточило требования, предъявляемые к новым сортам, сделав описанные выше характеристики непременным условием успеха на рынке. Включился автокаталитический механизм с положительной обратной связью. Как результат: увеличение энергоемкости сельского хозяйства стало важнейшей составляющей мирового энергетического кризиса 1970-х гг.; уменьшение биоразнообразия вызвало несколько волн значительного экономического ущерба вследствие появления мутантных форм возбудителей болезней и вредителей и т.д.

Современным примером того же рода может служить развитие компьютерной техники и программного обеспечения, взаимно катализирующих создание и внедрение новых, более «продвинутых» разработок. Результатом становится сверхбыстрое развитие информационных технологий, когда новые их варианты поступают и захватывают рынок быстрее, чем исчерпывается потенциал использования предыдущих. Важнейшим механизмом подобного самопрограммирования в настоящее время выступает реклама, чья первоначальная функция — пассивная информация потребителя — трансформировалась в активное формообразующее воздействие на потребительский рынок.

Вследствие описанной особенности современных высоких технологий пространство выбора векторов дальнейшей социоэкономической и научно-технологической эволюции в точке бифуркации, к которой приближается современная цивилизация, оказалось довольно ограниченным жесткими рамками требований естественно-научной и экономической целесообразности:

1) сложившаяся в настоящее время социоэкономическая система требует достаточно высоких энергозатрат для обеспечения систем жизнедеятельности и поддержания достойного современного человека образа жизни. Поиски альтернативных, безопасных и экологически чистых источников энергии имеют неопределенные перспективы, сроки создания конкурентоспособных энергопроизводящих систем постоянно переносятся в будущее (создание термоядерных электростанций ожидалось еще в конце 1950-х гг.);

2) социополитическая и социоэкономическая стабильность в настоящее время обеспечиваются широким использованием информационных технологий. Единственной реальной альтернативой компьютеризации здесь выступает, пожалуй, та же гениальная инженерия, но уже применительно к человеку, сулящая значительное повышение его интеллектуального по-

тенциала путем перестроек генома (что также встречает отнюдь не однозначную реакцию общественного мнения);

3) решение продовольственного и экологического кризиса не имеет пока альтернативы, кроме развития генно-инженерных технологий. «Экологически чистые» системы земледелия в настоящее время дорогостоящи и пока не обеспечивают достаточный уровень продуктивности, чтобы прокормить растущее население Земли;

4) распространенные в настоящее время болезни (сердечно-сосудистые, онкологические, психоневрологические, диабет и т.д. и т.п.), равно как типичные хромосомные (болезни Дауна, Шерешевского — Тернера, Клайнфельтера, «кошачьего крика») и генные болезни (фенилкетонурия, талассемия, различные анемии, болезнь Тау — Сакса), новые инфекции (прежде всего СПИД) являются типичными «болезнями цивилизации». Они вызваны либо условиями жизни и нормами культуры, сложившимися в течение столетий, либо усилением экологического прессинга человека на окружающую среду. Пока только генные технологии дают реальную, т.е. прогнозируемую уже сейчас, перспективу их лечения и профилактики;

5) обеспечение стабильности современной цивилизации и расчет будущих рисков самой разнообразной природы невозможны без поддержания высоких темпов развития науки, прежде всего таких «рискогенных» ее областей, как генетика, физика, химия, несмотря на то социopsихологическое напряжение, которое провоцируют столкновения новых научно-теоретических конструктов с уже существующими ментальными, политическими и этическими доминантами.

Этот анализ весьма схематичен, но для общего штрихового портрета существующего узла противоречий научно-технологического и социокультурного прогресса его уже достаточно.

Начинается третья фаза генезиса «опасного знания» — современная. Развитие науки и технологии изменило характер и масштабы порождаемых ими рисков. Устранение риска ныне оказывается невозможным просто путем разработки новой системы мер техники безопасности. Созданная в последние 200–250 лет система экономических мер прогнозирования и управления риском на основе математической статистики теперь уже неэффективна, поскольку результаты нежелательных событий оказываются необратимыми. В фундаментальной коллективной монографии «Управление риском», подготовленной экспертами Министерства по чрезвычайным ситуациям России и сотрудниками РАН, констатируется: вера, что наука, породив некую рискованную ситуацию, в последующем найдет способы ее устранения, не оправдывается. Возникающие риски проистекают из наиболее современных теоретических и технологических разработок, а способы предотвращения негатив-

ных последствий основываются на фундаментальных знаниях и технологиях вчерашнего дня.

Иными словами, включается тот самый механизм цугцванга, о котором говорилось выше. Актуализация опасных последствий конкретной научной разработки в случае неблагоприятного развития ситуации становится «событием, имеющим начало и не имеющим конца, своеобразным непредсказуемым “вольным пиршеством” крадущихся, скачущих и накладывающихся друг на друга волн разрушения. Но ведь это и подразумевает потерю меры нормальности, утрату процедур измерения и, следовательно, реальной основы для расчета опасностей: сопоставляются друг с другом несравнимые сущности, и расчет, исчисление оборачиваются лишь затемнением рассудка», — язвительно пишут авторы упомянутой монографии [Управление риском, 2000. Гл. 1]. Временной разрыв между возникновением риска и его разрешением становится не просто хроническим, он растет, асимптотически стремясь к бесконечности.

Итак, в соответствии с описанной моделью в коэволюции антропо-, социо- и культурогенеза активная роль неизбежно принадлежит последнему. Во-первых, человек чем дальше, тем в больших масштабах вынужден сознательно регулировать эволюцию собственного генома в частности и эволюционные процессы в биосфере вообще. Во-вторых, решение первой задачи подразумевает соответствующие изменения ценностных приоритетов и этических норм, распространение их с отношений между людьми на отношения между обществом и природой, в конечном счете — создание социальных и политических структур, контролирующих антропогенные воздействия на природу и прогнозирующих результаты такого воздействия [Поттер, 2002]. Иллюстрацией преформирующего доминирования влияния социокультурной эволюции относительно генетической составляющей антропогенеза служит высказывание российского генетика Ю.П. Алтухова: «Динамика генофонда диктуется не наследственностью, а социальным процессом. Он первичен. А структура генофонда меняется, отвечая на изменения в социуме. Поэтому все зависит от нас. Человеку дана свободная воля, ему выбирать между добром и злом» [Алтухов, 2003].

На завершающих стадиях антропогенеза — его трансформации из биологической формы эволюции в социально-культурную — механизмы экологического гомеостаза подвергаются постепенной, все ускоряющейся деструкции. Возникает ноосфера, механизмы гомеостаза которой еще не сформировались. Этот временной разрыв, когда стабильность биосферы уже близка к минимуму, а ноосферные механизмы саморегуляции еще не могут обеспечить достаточный уровень стабильности, привел к тому, что глобальный экологический кризис грозит перейти в фазу глобального кризиса человеческой цивилизации [Кордюм, 2001]. В такой

трактовке проблема коэволюции человека и природы становится в первую очередь социально-культурной и лишь затем технологической и естественно-научной проблемой. Познание человеком закономерностей собственной биологической эволюции и разработка технологических основ контроля и изменения собственного генофонда становятся все более актуальными.

Таким образом, на протяжении десятков тысяч лет к бинарной связке двух взаимозависимых форм эволюции интенсивно интегрируется третий компонент — технология. Техногенная цивилизация, безусловно, оказывает интенсивное, масштабное и глубокое воздействие и на многообразие человеческой индивидуальности, и на их социальный статус и социальную роль. Это влияние с точки зрения гуманистической традиции достаточно многовекторно в статическом и непостоянно в динамическом аспекте. Наука и так называемые высокие технологии (в том числе генетическая инженерия) становятся формообразующим фактором по отношению к индивидуальным и групповым поведенческим модусам в различных сферах социальной жизни, подчас достаточно отдаленных от них в содержательном отношении.

Условия современного производства предъявляют прогрессирующе ужесточающиеся требования к вовлеченному в него «человеческому фактору». Эти требования касаются уже не только социобиологических составляющих (где ведущим фактором формирования признака служат социальные модификации генетически детерминируемой нормы реакции), но и собственно биосоциальные характеристики (генетические детерминанты) индивидуума, вытесняя за пределы адаптивной нормы в область патологии те фенотипы, которые в традиционных (доиндустриальных) социумах имели приспособительное значение как в индивидуальном, так и групповом аспекте.

Одной из ярких иллюстраций этого служит изменение отношения общества к способности отдельных личностей входить в состояние эмоционального аффекта, видений и т.п. явлений человеческой психики («божественное безумие», божевілля — «божья воля», в украинском языке). Их адаптивное значение, повышающее шансы если не отдельных носителей таких признаков, то, по крайней мере, социальных общностей, к которым они принадлежали, подтверждается многочисленными примерами, которые можно позаимствовать из истории или художественной литературы (герои Гомера, Жанна д'Арк, персонажи Пушкина и Достоевского). Отметим, что именно на такие личности падала роль харизматических лидеров или хранителей и выразителей религиозно-этических ценностей (Христос, Мохаммед, Будда). Не случайно связь гениальности и безумия была одним из ключевых мотивов как конкретно-биологических, так и социально-философских рефлексий XIX в. [Сироткина И.Е., 1999, 2000. 2008].

Эволюционная природа феномена «опасного знания»

Российский экономист Н.Д. Кондратьев создал теорию больших экономических циклов, согласно которой направление экономики претерпевает закономерную смену фаз развития, в результате которой период роста экономической активности сменяется фазой депрессии. Продолжительность каждого цикла составляет приблизительно 60–70 лет. И при этом фаза экономического подъема, как правило, инициируется кардинальными технологическими инновациями и сопровождается ростом социальной напряженности, политическими кризисами и конфликтами, тогда как на нисходящей ветви цикла особых социальных потрясений не происходит [Кондратьев, 2004]. Уже здесь в неявном виде присутствует тезис о научно-технологических инновациях («опасном знании») как одним из источников социального риска. Равным образом это касается и констатации роли несовпадения скоростей научно-технологического развития и социокультурной адаптации как одной из главных причин этого явления.

С течением времени подобного рода трактовки механизмов возникновения социального риска, в том числе связанного с развитием науки, отмечается многими исследователями. Ныне они стали одной из доминирующих тем социологических, экономических и политологических концептов.

И происходит это каждый раз, когда их авторы обращают внимание на «роковое» значение фактора времени в инициации и разрешении рискованной ситуации. Так, например, О.Н. Яницкий, неоднократно цитируемый в настоящем исследовании, пишет [Яницкий, 2004]: «В глобализирующемся обществе риска существенно возрастает *цена времени* как параметра любого социального действия. Нельзя переждать, перетерпеть проблему, этим обществом порождаемую... Чем дольше оттяжка... тем выше плата за риск. Поэтому необходима постоянная и интенсивная рефлексия, всесторонняя оценка, конструирование новых средств защиты. Проблема времени имеет также культурное измерение. Мы привыкли говорить о культуре как хранилище ценностей, знаний, умений, т.е. интеллектуальных и моральных благ. В условиях нарастающей скорости перемен культура просто не успевает отвечать на вызовы, порождаемые все новыми рисками. И тогда культура отстывает, “санкционируя” архаичные ценности и силовые практики». Итак, источник риска — разрыв единой системы коадаптации между эволюционирующими системами. Результирующий вектор эволюции науки, общества, природы перестает быть равнодействующей процессов их взаимной адаптации, атрибутом целостной системы, он определяется исключительно имманентными за-

кономерностями наиболее быстро изменяющегося элемента. В техногенной цивилизации таким элементом, как мы видим, являются наука и технология.

Методология научного исследования XVIII–XIX вв. подразумевает объективизацию полученной информации, ее освобождение от личностных особенностей субъекта познания. Постнеоклассическая наука конца XX — начала XXI века рассматривает исследуемые системы как комплекс, неотъемлемой частью которого является сам действующий субъект (Степин и др., 1995). На смену одномерной модели развития человечества, исходящей из оппозиции человека и природы, приходит коэволюционная.

Естествознание одновременно участвует в двух циклах эволюционного преобразования социокультурной информации — *Природа* \cup *Наука* \cup *Общество*. В одном цикле критерием эволюционного успеха оказывается адекватное отражение научной теорией объективной действительности, в другом — ее способность обеспечить удовлетворение потребностей и интересов индивидуумов, социальных общностей, общества в целом.

Соответственно этому в системе «**ЧЕЛОВЕЧЕСТВО — СОЦИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА**» наличествуют по крайней мере два транслятора, обеспечивающих преобразование («очеловечивание» и «социологизацию») информации в адаптивную стратегию человека. Первым таким транслятором выступает фундаментальная наука — посредством просвещения, образования и популяризации. Вторым универсальным транслятором, как уже говорилось, является этика, посредством которой научные знания преобразуются в цели человеческой деятельности и способы их достижения. Обе эти составляющие определяют на паритетных началах выбор научной концепции из совокупности относительно адекватных вставшим перед наукой проблемам.

Таким образом, отношения в связке наука — этика обеспечивает социуму известную гомеостатичность при сохранении достаточной способности науки приспособляться к непрерывно меняющемуся миру.

С другой стороны, та же самая связка оказывается незастрахованной от конфликтов, крайне деструктивных и для науки, и для общества. Как правило, подобные конфликты проявляются как феномен «политизированной (идеологизированной) науки», и развиваются по типу цикла с положительной обратной связью до тех пор, пока альтернативные механизмы социального гомеостаза не смогут вернуть развитие ситуации в рамки адаптивного ответа. Механизмы инициирования, пролиферации и терминации феномена политизированной науки проанализирован нами ранее на примере так называемой мичуринской генетики в бывшем СССР [Чешко, 1997; Глазко, Чешко, 2009, 2013; Cheshko, 1999].

Интеграция «человеческого фактора» в методологию науки (т.е. в самый способ получения нового знания) влечет за собой внедрение аксиологического по своей природе компонента «социальный риск» в содержательную ткань научных теорий. Объектом научного исследования все чаще становятся саморазвивающиеся неравновесные системы, приобретение информации о которых сопряжено с их необратимыми трансформациями.

Экология и генетика оказались теми областями современного естествознания, где эта тенденция проявляется наиболее резко. При этом обе эти науки смогли разработать два альтернативных методологических подхода к исследованию и решению подобного рода проблем — теорию сложных экосистем и теорию генетической информации. Оба подхода находят применение для описания и объяснения поведения эволюционирующих неравновесных систем и оказываются в значительной мере дополнительными по отношению друг к другу.

В коэволюции социума науки и технологии изменения ментальности и научный прогресс могут рассматриваться как сопряженные процессы репликации и преобразования социокультурной информации. Элементарный шаг коэволюции системы «наука — культура» можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} S_1 &\rightarrow S_2 \cup T_1 \rightarrow T_2; \\ T_1 &\rightarrow T_2 \cup VP_1 \rightarrow VP_2; \\ VP_1 &\rightarrow VP_2 \cup M_1 \rightarrow M_2; \\ M_1 &\rightarrow M_2 \cup BM_1 \rightarrow BM_2, \end{aligned}$$

где S_1, S_2 — развитие науки; M_1, M_2 — эволюция ментальности; T_1, T_2 — смена технологий; VP_1, VP_2 — трансформация ценностных приоритетов; BM_1, BM_2 — эволюция поведенческих модусов.

Обратное формообразующее влияние эволюционирующей ментальности на научное развитие является симметричным отражением первой схемы:

$$\begin{aligned} M_1 &\rightarrow M_2 \cup BM_1 \rightarrow BM_2; \\ M_1 &\rightarrow M_2 \cup VP_1 \rightarrow VP_2; \\ VP_1 &\rightarrow VP_2 \cup S_1 \rightarrow S_2; \\ S_1 &\rightarrow S_2 \cup T_1 \rightarrow T_2. \end{aligned}$$

Разумеется, взаимное влияние науки и ментальности может осуществляться и непосредственно (образование, популяризация): $S_1 \rightarrow S_2 \cup M_1 \rightarrow M_2$ и $M_1 \rightarrow M_2 \supset S_1 \rightarrow S_2$, однако и в этом случае изменения менталь-

ности преломляются в соответствующих изменениях этических норм и приоритетов.

Поведенческие и технологические модусы в этом случае выступают эквивалентами адаптивных стратегий. Этические приоритеты служат датчиком несоответствия между научно-технологическим прогрессом, с одной стороны, и доминирующими ментальностями и поведенческими стереотипами — с другой. Одновременно эволюционное преобразование моральных норм и ценностных стандартов обеспечивает преодоление таких несоответствий и взаимную адаптацию менталитета и научно-технологических инноваций.

Рассмотрим механизм этого взаимодействия на конкретном примере. Как показывают специальные социологические и исторические исследования, «три “большие” метафоры связывают пространство биологического и социального дискурса. Это метафоры *организма, борьбы за существование и эволюции*... Образные выражения и ключевые слова, воплощающие эти идеи, приобретают наддисциплинарный статус духовных универсалий эпохи». Они стали «универсальными идейными конструктами, мировоззренческими формами, в которых развивается человеческая мысль...» [Шмерлина, 2001].

К этому списку — *борьба за существование/естественный отбор, организм, эволюция* — с нашей точки зрения, необходимо добавить еще — *генетическая информация/программа*. Именно последний образ в настоящее время обладает наибольшим формообразующим потенциалом (во взаимодействии с метафорами отбора и эволюции), существенно сузив сферу влияния и ослабив значение «организма» как стержневого элемента современных социополитических и идеологических конструкций.

Таким образом, взаимосвязь биологии и политологии приобретает глобальную культурно-философскую составляющую и становится одним из факторов, определяющих вектор будущих трансформаций цивилизации.

Но в той же (или почти в той же) мере политические и ценностные интерпретации влияют на эволюцию теоретико-методологического фундамента науки, а через него — и на собственно процесс научного познания, получение и теоретическое осмысление экспериментальных данных.

Проблема соотношения индивидуальной и групповой изменчивости *a priori* может быть интерпретирована в рамках двух альтернативных генетико-популяционных моделей.

Первая из них за исходный пункт берет индивидуума (генотип). Вариации индивидуальных личностных характеристик в этом случае рассматриваются как популяционный — генетический и социокультурный — полиморфизм, обеспечивающий социальную стабильность и эволюционно-культурную пластичность.

Вторая модель выделяет внутри полиморфного вида *Homo sapiens* надорганизменные популяционные биологические целостности — *расы*, чьи среднестатистические характеристики возникли в результате адаптации к специфической экологической и социокультурной среде.

Если придерживаться методологических установок классической науки, то вопрос об объективном существовании человеческих рас необходимо решать в рамках собственно естествознания, «очистив» содержание этого понятия от политических и этических наслоений. Но вот парадокс: именно представители так называемого *научного расизма* в настоящее время и настаивают на соблюдении принципа «демаркации». Филипп Раштон в своей книге «Расы, эволюция и поведение» пишет: «Данные биологии показывают, что расы — это не социальный концепт. Эксперты-криминалисты могут идентифицировать представителя определенной расы по особенностям скелета или даже по отдельной кости, крови, волосам, семени и т.д. Сомнения в существовании рас ненаучны и нереалистичны» [Rushton, 2000]. По его мнению, эти сомнения происходят из смешения политического равноправия и биологической идентичности.

В целом с последним выводом можно согласиться. Тезис о наличии генетической предрасположенности тех или иных модусов социального поведения, интеллекта, социального статуса, личностных особенностей воспринимается западной демократией в настоящее время как посягающий на исходную политическую доктрину независимо от степени собственно научной (экспериментальной и логической) обоснованности, т.е. как одна из разновидностей «опасного знания».

Итак, *интеграция аксиологических компонентов в логический каркас научных теорий, в том числе способность науки выполнять свои социальные функции, определяется пластичностью ее категориального аппарата. Под этим термином здесь понимается способность теоретической конструкции обеспечивать согласованность критериев внешнего оправдания (соответствия данным чувственного опыта), внутреннего совершенства (логической непротиворечивости) и соответствия ценностным приоритетам или, по крайней мере, аксиологической нейтральности.* Пожалуй, в этом — основное отличие эпистемологической ситуации постнеклассической («человекомерной») фазы развития науки. В эпоху господства логического позитивизма этическая нейтральность научного знания считалась константой, которая автоматически «выводилась за скобки» в процессе верификации.

Если соблюдение этого условия оказывается невозможным, становится неизбежным превращение науки в источник социального риска — «опасное знание» 4-го типа по принятой в настоящем исследовании классификации (см. разд. «Феноменология и онтология “опасного знания”»).

В этом случае человечество оказывается в зоне бифуркации: либо эволюционное преобразование базисных ментальных установок и идеологических доктрин, либо их революционная замена, либо стагнация соответствующих научных направлений и превращение соответствующих научных дисциплин в псевдонауку.

Сказанное в целом касается и отношений современной теоретической генетики и доктрины эгалитаризма. Очевидно, естественно-научным фундаментом современных интерпретаций концепции политического эгалитаризма может стать не постулат (унаследованный современным менталитетом) о биологической однородности всех членов общества, а безусловный приоритет сохранения генетического разнообразия человеческих популяций. Модель популяционной структуры, предложенная Ф. Добржанским, в целом исходила из положений, удивительным образом гомологичных принципам политического плюрализма и гражданского эгалитаризма [Dobzhansky, 1976]. Приняв в качестве исходного тезис о том, что эволюционный потенциал вида основан на значительных резервах наследственной изменчивости, Ф. Добржанский сделал следующий логико-методологический шаг. По его мнению, сохранение достаточного уровня генетического разнообразия (полиморфизма) и процесс эволюции имеют один и тот же источник — естественный отбор, основанный, в конечном итоге, на более высокой приспособленности гетерозигот и локальной пространственно-временной неоднородности среды обитания. Прямым следствием этой концепции, как полагает один из самых известных авторитетов в области генетики, является тезис о большей жизнеспособности общественных систем, поддерживающих и сохраняющих интересы отдельных индивидуумов и социальных групп (в противоположность доктрине государства «монолитного единства» — генетического, расового, национального).

Отождествление и ассоциация в свете современных генетических представлений социально-политического равенства с генетической идентичностью, а неравенства — с биологической неравнозначностью отдельных индивидуумов основаны на логической ошибке. Генетическая мономорфность сделала бы всех людей взаимозаменяемыми, полностью идентичными элементами социальной машины. Если все генетически идентичны, то следует ли из этого, что все равны? Более внимательное рассмотрение показывает, что все не так просто. Равенство между людьми важно именно вследствие генетического разнообразия, а не вопреки ему. «Если бы все люди были генетически сходны между собой, как монозиготные близнецы, равенство стало бы бессмысленным», — писал Ф. Добржанский [Добржанский, 2000].

Решение противоречия генетический редуccionизм — политический эгалитаризм не снимает, таким образом, конфликта между развитием

генетики генетических технологий, с одной стороны, и ментальностью современного человека — с другой. Оно лишь меняет характер и содержание коллизий, возникших между естествознанием, технологией и социумом. Акцент на социально-политической необходимости поддержания генетического и социального разнообразия в популяциях и обществе направляет негативистскую ментальную реакцию против определенных репродуктивных технологий, которые ассоциируются в массовом сознании с ограничениями такого разнообразия. Первым номером этого списка является клонирование человеческих существ, которое остается пока единственным направлением генетических исследований, на развитие которых ответом социума становятся безусловные административные или законодательные запреты. Возможно, ограничение генетического разнообразия служит одним из существенных мотивов такого социально-политического сопротивления. П. Ремси, которого можно, безусловно, отнести к сторонникам реализации евгенических программ на современной научной основе, накануне рождения генетической инженерии заявил, что высшим этическим приоритетом должна считаться уникальность человеческой личности — социальная и генетическая, существованию которой, в свою очередь, противоречит использование методики клонирования человеческих существ [Ramsey, 1970].

Впоследствии этот тезис стал одним из основных доводов против использования данной репродуктивной технологии. В такой форме, однако, этот конфликт оказывается, на наш взгляд, более локализованным как по широте, так и по глубине, увеличивая гомеостатичность системы «наука–общество» и снижая вероятность «сползания» ситуации к кризисному эволюционному сценарию.

Следует, правда, отметить, что причины распространенности мнения об исключительном значении внешней среды (по сравнению с генетической конституцией индивидуума) для формирования каждой конкретной личности как необходимого условия жизнеспособности политической системы, основанной на принципах демократии и равноправия, связаны с эволюционной историей современного менталитета. Они не сводятся, как полагал Ф. Добржанский, к тому, что «либералы и поборники равноправия дали своим противникам провести себя. Поскольку последние верят в генетическое предопределение, то первые (от противного) поддерживают миф о *tabula rasa*». На самом деле ассоциация доктрины эгалитаризма с постулатом о биологической равнозначности отдельных индивидуумов произошла, если можно так выразиться, в результате стохастического совпадения или концептуального дрейфа (по аналогии с генетическим дрейфом). Однако, став центральным элементом ядра новой идеологической системы и сформировавшегося на ее основе менталитета, этот постулат стал в значительной мере определять взаимодействие

политического эгалитаризма с другими социально-культурными парадигмами, а вместе с этим и характер социально-психологической реакции на новую реальность, в том числе на психогенетику и исследования генетики поведения человека. Миф о *tabula rasa* оказался достаточно жизнеспособным именно в силу своего облигатного паразитизма по отношению к идеологии эгалитаризма, которая заметно поддерживает его жизнеспособность в системе современной ментальности. Принцип генетического разнообразия в современных условиях способствует в значительно большей степени формированию высокогомеостатичных и адаптивно-пластичных характеристик социальных систем, основанных на принципах демократии и плюрализма. В ходе антропогенеза появляются новые (помимо отбора) механизмы, обеспечивающие согласованность и соразмерность эволюционного процесса, причем возникает новое свойство самоорганизующихся систем, включающих в себя человека как наделенную разумом «элементарную единицу эволюции» — **телеологичность** (целесообразность, в данном контексте — сознательный выбор наиболее «желательного» сценария будущего из нескольких возможных): «ценности — это коды, которые мы используем для того, чтобы удержать социальную систему на некоторой линии развития, которая выбрана историей. Система ценностей всегда противостоит дестабилизирующим эффектам флуктуаций, которые порождаются социальной системой», — писал Илья Пригожин (1991, с. 36). Он стал (наряду с Г. Хакенем и некоторыми другими учеными и философами) у истоков новой науки — синергетики, предметом исследований которой стала эволюция самоорганизующихся открытых неравновесных систем [Хакен, 1986, 1991; Синергетическая парадигма, 2000; Методология биологии, 2001 и др.].

Коэволюция и самоорганизация являются взаимосвязанными понятиями, поскольку под последней понимают становление новой целостной системы, протекающей вследствие сложного и одновременно согласованного развития элементов исходной системы, выступающей по отношению ко вновь возникающей в роли экологической среды [Добролюбова, 2003].

Появление нового элемента, становящегося новым центром самоорганизации (**аттрактором**), определяет вектор и траекторию дальнейшей эволюции всей системы. Возникновение нового мощного аттрактора может перевести ее в состояние неустойчивого равновесия, и любая случайная флуктуация оказывается способной вызвать необратимую лавинообразную перестройку существующей организации эволюционирующей системы [Лутай, 2003]. В этом качестве могут выступать объекты самой различной природы, причем новые идеи, в том числе возникающие в результате научного прогресса, принадлежат к числу наиболее мощных

аттракторов. То же самое можно сказать и о природе флуктуаций — изменения климата, экологические или техногенные катастрофы, стихийные бедствия, социальные и политические конфликты (в том числе и военные).

С учетом этого можно дать новое определение понятию «опасное знание», которое будет уже не феноменологическим описанием, а вскрывать его природу. *«Опасным знанием» может быть признана любая научная или научно-технологическая информация, которая в случае своего распространения становится аттрактором, увеличивающим вероятность необратимых изменений организации биосоциальной природы Разумной Жизни, носителем которой является человечество, и преддетерминированной ходом культурно-биологической коэволюции системы общечеловеческих ценностных приоритетов.*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

«Призрак бродит по Европе,
Призрак трансгуманизма».

Борис Юдин (цит. по: [Тищенко, 2014])

Со временем стала очевидной связь эволюционной стратегии биологического вида *Homo sapiens*, и перманентно увеличивающегося эволюционного риска, проистекающего из самого способа бытия человеческой цивилизации. Наша судьба — в наших генах и в нашей культуре, в неизбежно порождаемой ими технологии.

Итак, как представляется биотехнологу и философу проблема соотношения знания и риска спустя десятилетие [Чешко и др., 2014, 2015, 2016; Ivanitskaya et al., 2015; Глазко 2011, 2014, 2016]. Проанализируем.

Эволюционный риск и эволюционная стратегия

Последние достижения биотехнологии выявили не только позитивно-конструктивные, но и рискогенные, потенциально опасные аспекты субстанционального фундамента эволюции стабильной адаптивной стратегии *Homo sapiens* (СЕСН).

В течение предшествующих трех — четырех столетий существования техногенной цивилизации ее рационально-гуманистическая идеология могла выносить «за скобки» уравнения социальной и глобальной эволюции субстанциональную основу человеческого бытия — пресловутую природу человека в качестве, так сказать, мировой константы. Эта операция, результаты которой в постдарвиновскую эпоху редуцировались в утверждение о затухании биологической эволюции *Homo sapiens* в современную эпоху, замещении антропогенеза социокультурогенезом, делала логически непротиворечивой концепцию прав человека и последовательную трансформацию ее натуралистического варианта («естественные права») в чисто конвенционалистскую доктрину.

Два события XX в.: переоткрытие законов Менделя и создание хромосомной теории, а спустя полвека создание модели ДНК и расшифровка генетического кода — радикальным образом преобразовали наши представления и об эволюции Вселенной и о нашей собственной природе, в корне изменили структуру самой науки, ее социальный статус и в конечном счете привели нас на порог «постчеловеческого будущего». По-

явление двух концептов трансгуманизм Дж. Хаксли и биоэтика Р. Ван Поттера стало симптомом глубокой реконструкции эволюционного ландшафта, в котором протекает процесс социоантропогенеза. Причем биоэтика ныне — это не только научная дисциплина и философская парадигма, но и социальный, даже цивилизационный феномен.

Как писали многие, «нам не обязательно много знать о природе человека, чтобы у нас появились этические опасения по поводу изменения ее (природы человека) посредством биотехнологии... Концепт “природа человека” должен соотноситься с чем-то в реальном мире, если мы хотим иметь моральные основания для этого, но нам вовсе не обязательно при этом быть в состоянии сказать точно, что означает “быть человеком”» [Kaebnick, 2012]. Любое объяснение природы человека как в социогуманитарной, так и в естественно-научной плоскости с логической неизбежностью реинтерпретируется как антропное теоретическое понимание онтологического базиса эволюционного процесса вообще и эволюции разумной жизни в частности.

В этом перечне вопросов ключевое, даже глобально судьбоносное значение приобретает формирование целостной концепции стабильной адаптивной (эволюционной) стратегии человечества (СЕСН). Ни в коей мере не претендуя на создание законченной теоретической конструкции, мы хотели бы изложить собственные предварительные соображения относительно исходного пункта таких поисков.

Концептуально-терминологический аппарат теории стабильной адаптивной стратегии человека

Самоорганизующимися (эволюционирующими) системами будем именовать объекты, содержащие в себе структуры, выступающие в качестве носителей спонтанно реплицирующейся и мутирующей информации, необходимой для существования этих объектов (а), а также оператор, обеспечивающий процесс реализации этой информации (б).

В рамках теории эволюция есть процесс изменений информационных фрагментов самоорганизующихся объектов.

Адаптациями считаются любые интернальные информационные фрагменты, наличие которых в системе повышает устойчивость и реплицируемость содержащейся в ней информации.

Очевидно, одним из общих временных трендов эволюционного процесса вообще и процесса адаптиогенеза в частности может считаться мультипликация систем генерации, репликации и трансляции (реализации) адаптивной информации и, соответственно, мультипликация типов таких адаптаций [Jablonska, Lamb, 2005]. В настоящее время таких систем насчитывается, по крайней мере применительно к человеку и гоминидам, четыре: генетическая, эпигенетическая (в свою очередь, подразделяемая

на подсистемы метилирования, комплексообразования с гистонами, альтернативного сплайсинга); культурная (поведенческая); семантическая (естественные и искусственные языки). Здесь под термином «культура» понимается «информация, способная повлиять на поведение людей, которая приобретается ими от членов их социальной группы путем обучения, подражания и других форм социальной коммуникации».

В глобальном эволюционном процессе реализуются два альтернативных эволюционных модуса генерации, репликации и реализации адаптивной информации — модус Дарвина—Вейсмана и модус Ламарка.

Модус Дарвина—Вейсмана есть стохастический — не направлен на жестко детерминируемые информационные структуры и/или контролируемые ими признаки (а), неопределенный — не адекватен и не коррелирует с изменениями внешней среды (б), непроективен и не конструктивен, т.е. не способен прямо (целенаправленно или нецеленаправленно) изменять адаптивный ландшафт, в котором происходит эволюционный процесс (в), и не рекурсивен — не может быть изменен иначе как в результате повторного стохастического события (г). Модус основывается на генетическом коде и обеспечивается так называемым гиперциклом Эйгена [Эйген, Винклер, 1979] — бинарной связкой нуклеиновых кислот и белков с жестким разделением функций репликации (ДНК, РНК) и реализации адаптивной информации (белки). Адаптивное значение информационных фрагментов приобретается и фиксируется в ходе стохастической селекции, не связанной прямой функциональной зависимостью с генерацией информации. Селекция и репликация адаптивной информации в этом случае происходят только в вертикальном направлении. Модус в относительно чистом виде актуализовался в ходе биологической фазы эволюции (биогенеза).

Модус Ламарка телеологичен — направлен на определенные информационные структуры и/или контролируемые ими признаки (а), адекватен и/или коррелирует с изменениями внешней среды (б), проективно-конструктивен, т.е. способен к прямому изменению адаптивного ландшафта и культурно-экологической ниши, где происходит эволюционный процесс, более того — к целенаправленной их реконструкции (в), и рекурсивен — доступен коррекции в ходе реализации (г). Модус основывается на социокультурном коде и обеспечивается системами мимезиса (культурная наследственность) и речи (символическая наследственность). Адаптивное значение информационных фрагментов приобретается и фиксируется единовременно с генерацией информации и в прямой функциональной зависимости от последней. Селекция и репликация адаптивной информации в этом случае происходят как в вертикальном, так в горизонтальном (диффузия внутри и вне одновременно существующих социальных общностей различного ранга) направлении. Модус в относи-

тельно чистом виде актуализовался в ходе социальной фазы эволюции (социокультурогенеза).

Будем считать [Чешко, 2012; Чешко и др., 2008] биологическими адаптациями закодированные в геноме особенности структурно-функциональной организации индивидуума, увеличивающие вероятность фиксации и репликации детерминирующих их появление фрагментов генетической информации (а); культурными адаптациями — поведенческие стереотипы, распространенные в данной социальной группе в результате подражания и коммуникации между индивидуумами и увеличивающие вероятность ее (группы) выживаемости и роста численности фиксации и репликации, детерминирующих их появление фрагментов информации посредством эмоциональной и символической коммуникации (б); технологическими адаптациями (инновациями) — материальные средства и способы целенаправленного эффективного преобразования, познавательно-проективной деятельности, распространенные в данной социальной группе в результате символической коммуникации между индивидуумами посредством письменной и устной речи с использованием естественных и искусственных языков и увеличивающие вероятность ее (группы) выживаемости и роста численности фиксации и репликации детерминирующих их (средств и способов преобразования) появление фрагментов информации (в). (Поскольку применительно к технологии речь идет об изначально проективной (целенаправленной и рационалистической) форме адапциогенеза, концепты «адаптация» и «инновация» оказываются равнозначными.)

Дж. Мейнард Смит ввел, как известно, в научный обиход концепт эволюционно-стабильной стратегии как видоспецифичного набора модусов решения возникающих адаптационных задач. Концепция Смита является частным аксиоматизированным случаем теории игр вообще и так называемого равновесия Нэша в частности. Одна из наиболее острых проблем современной теории антропогенеза есть происхождение и организация стабильной адаптивной (эволюционной) стратегии гоминид (СЕСН). Решение этой проблемы тем более важно, что ныне мы приближаемся к точке очередной глобальной макроэволюционной бифуркации — переходу в фазу управляемой эволюции, причина которой — глобальные эволюционные и экологические последствия реализации стабильно-эволюционной стратегии человека.

Исходные методологические постулаты объяснительной модели, лежащие в основе развиваемой ниже гипотезы, в разное время предлагались Н.И. Вавиловым, В.И. Вернадским, Дж. Хаксли [Ivanitskaya et al., 2015; Чешко и др., 2010, 2014; Глазко, Иваницкая, 2010]. Целостная «идеология» (система исходных теоретических постулатов), составляющая теоретическое ядро этой концепции, известна как модель тройной спирали. По-

следняя предусматривает, что самоорганизующиеся и способные к тому, что мы называем прогрессивным эволюционным развитием, системы обязательно включают в себя структуру из трех автономных, но взаимозависимых (коэволюционирующих) и перекрывающихся элементов. Именно в этих гибридных зонах, где происходит взаимопроникновение автономных социальных институтов с образованием гибридных структур, и происходит генерация новой адаптивной информации [Чешко, Глазко, 2009; Чешко и др., 2011; Чешко, Косова, 2011, 2012].

Каждый из элементов способен к самостоятельным адаптивным изменениям в конкретном эволюционном контексте, но в целом их эволюционная траектория неизменно стремится к точке устойчивого равновесия. Точно так же бинарные связи этих элементов колеблются вокруг точек равновесия, описываемых уравнением Вольтерра—Лотки. На уровне эволюционной когнитивистики эта закономерность реализуется как футурофобия и футурошок, связанный с эффектом торможения развития High Tech и High Hume. «Гибридный характер» генератора новых знаний отражается в «гибридности» структуры самой теории — появлении в ее составе того, что нами обозначалось ранее как «этико-эпистемологические гибридные конструкторы». Феноменологическим следствием из их существования служит известный в когнитивистике «эффект Кноба». В соответствии с ним восприятие позитивных и отрицательных последствий новых знаний и технологий асимметрично — оценка первых занижается, а вторых — завышается.

Интеграцией трех упомянутых адаптивных модулей и трех отдельных коэволюционирующих объектов в единый иерархически организованный фрактал, где каждый его компонент ассоциирован с любым другим циклом прямых и обратных связей, генерируется иная динамическая структура. Появляется дополнительная петля обратной связи (позитивной либо негативной) и происходит либо генерация организованной сложности каждого элемента тройной системы и ее самой как некой целостности, либо их деградация (возрастание общей энтропии):

$$I(ABC) = H(A) + H(B) + H(C) - H(AB) - H(AC) - H(BC) + H(ABC),$$

где H — энтропия отдельно взятого элемента и их взаимодействия. Наибольший интерес представляет для нас один из элементов этого многочлена — $I(ABC)$. Он соответствует приросту или убыли системной информации в результате взаимодействия отдельных членов коэволюционирующей триады [Leydesdorff, Franse, 2009].

Генезис стабильной адаптивной стратегии *Homo sapiens*

Модель «тройной спирали» удивительно точно вписывается в наши представления о стабильной адаптивной стратегии *Homo sapiens*. Последняя представляется нам как фрактальная структура, включающая в себя коэволюционирующую триаду генетического, социокультурного и технологического адаптивных модулей. В расширенном варианте этого тезиса СЕСН оказывается элементом иерархически структурированного эволюционного фрактала, каждый уровень которого есть система, способная генерировать адаптивную сложность.

В результате общий вектор и конкретная социокультуроантропогенеза все в меньшей степени детерминирована экологической динамикой и становится все более самопроизвольной. Происходит то, что российский антрополог А.А. Зубов, на наш взгляд, удачно именуется «адаптивной инверсией» [Зубов, 2011]. В своих собственных публикациях мы, не употребляя этого термина, писали о том, что человек, в отличие от всех остальных существ, не приспособливается к окружающей среде, а приспособливает ее к себе, точнее — к организации собственного биосоциального субстрата — телесной и психической организации. В принципе это суждение стало для неodarвинистской («синтетической») теории эволюции тривиальным.

Однако в последние десятилетия оно подверглось пересмотру в рамках новой, эпигенетической дисциплинарной матрицы.

Приведенная структура оказывается фракталом. Каждый уровень адапциогенеза функционирует как модулятор процесса адапциогенеза нижележащего уровня и генератор субстратных блоков для вышележащего уровня. В триаде цивилизационного уровня таковым выступает технологическая адаптация, которая обеспечивается функционированием триады социального уровня (точнее было бы сказать — уровня социальных институтов).

В ходе антропогенеза происходит перманентное ускорение и увеличение эффективности процесса адапциогенеза в результате возрастания удельного веса социокультурных и технологических адаптаций. Иными словами, происходит постепенное замещение модуса Дарвина—Вейсмана модусом Ламарка как способного актуализировать более высокие темпы эволюции и/или адапциогенеза.

При этом ведущую роль в коэволюционной связке играет элемент с более высокой скоростью адапциогенеза, а условием возникновения коэволюционирующей триады является обособление автономных системных комплексов кодирование — генерация — репликация — трансляция новой адаптивной информации [Jantsch, 1980; Карпинская и др., 1995]. В целом эти два тезиса адекватно описывают базисные характеристики

эволюционной системы (последовательности) объектов (процессов) «*ЧЕЛОВЕК (БИОГЕНЕЗ) — КУЛЬТУРА, СОЦИУМ (СОЦИОКУЛЬТУРОГЕНЕЗ) — ТЕХНОЛОГИЯ (ТЕХНОГЕНЕЗ)*».

Возникновение этой системы, как можно предположить, произошло на том этапе нашей эволюционной истории, суть которого сводится к эволюционной дивергенции филогенетических линий человекообразных обезьян и собственно гоминид — непосредственных предков человека.

Современная теория антропогенеза (Цит. по: [Марков А., 2011]) синтезирует постулаты двух гипотетических объяснительных моделей XIX в.: кооперативное использование орудий труда (Ф. Энгельс) или половой подбор (Ч. Дарвин). Спустя 100 лет оба этих тезиса объединяются в предположении об экологических первопричинах (вытеснение тропических лесов саваннами вследствие иссушения климата), спровоцировавших радикальную смену экологической ниши и переход к новой адаптивной стратегии.

Последняя характеризуется как четкое распределение функций добывания пищи, с одной стороны, и выхаживания детей — с другой, между мужским и женским полом при обязательном условии стабильности родительских пар.

Итак, иницирующим толчком к формированию так называемой гоминидной триады (прямохождение, цефализация, способная изготавливать орудия труда рука) послужила протосоциокультурная (поведенческая) адаптация — смена экологической ниши и трансформация социальных ролей мужского и женского пола. При этом следующие этапы контролировались и направлялись биологическими механизмами эволюции.

С другой стороны, та же самая протокультурная адаптация инициировала развитие орудийной деятельности, которую в ретроспекции можно считать прототипом технологических инноваций (прототехногенез). Конституирование новой адаптивной стратегии завершилось 25 тыс. лет назад, и эволюция СЕСН стала самоподдерживающимся процессом коэволюции своих несущих конструкторов (генома, культуры и технологии), обеспечивающим перманентно-спонтанный рост системной (адаптивной) сложности.

Важнейший вывод из параллельного существования в рамках СЕСН двух и более систем кодирования, генерации, репликации адаптивной информации — иерархичная и сетевая структура естественного отбора как фактора социокультурноантропогенеза. Наряду с естественным отбором (селекцией) отдельных генетических детерминантов (генов) и организмов, существенную роль здесь играет и отбор социальных групп.

Упомянутая выше адаптивная инверсия (переход функции «перводвигателя» адаптивной эволюции от изменений экологической среды к эволюции культуры) на самом деле в той иной степени присуща всем биоло-

гическим видам. Основой этого являются различные эпигенетические трансформации, сдвигающие исходную генетически запрограммированную форму реакции и тем самым переформатирующие параметры экологической ниши [Odling-Smee, 2009].

В эволюции гоминид значение и мощность эпигенетических трансформаций как фактора перешли некую пороговую величину вследствие автономизации поведенческой эпигенетической трансформации фенотипа от собственно генетического (ДНК — РНК — белок) модуля генерации, репликации, фиксации адаптивной информации и возникновения нового — социокультурного модуля, осуществляющего тот же комплекс функций адаптогенеза. В отличие от экологического наследования наследственность культурная может быть соотнесена с конкретными репликаторами — носителями соответствующей адаптивной/дезадаптивной информации.

После прохождения этой грани эволюции СЕСН фиксация последовательного ряда социокультурных адаптаций не обусловлена в соответствии с эффектом Болдуина в качестве передаточного механизма замещения или трансформации предыдущей социокультурной адаптации генетико-биологическим аналогом. Точно так же не требуется формирования «генетического контекста», соответствующего конкретной социокультурной адаптации. Роль такого контекста, обеспечивающего адаптивность соответствующей (культурной или технологической) инновации, могли в ряде случаев взять на себя элементы тех же самых (культурного и технологического) модулей СЕСН. Иными словами, динамическое равновесие модуля Дарвина и модуля Ламарка радикально сдвинулось в сторону последнего.

Еще одно следствие рассмотренной организации СЕСН — внутригрупповая дифференциация социальных ролей (функций) отдельных особей. Отсюда — на порядок более высокие темпы и масштабы формирования надындивидуальных адаптаций и межгрупповой конкуренции социальных общностей (классов, страт, этносов и т.п.). Обеспечивающим фактором выступают системы информационных коммуникаций между членами группы. (По той же логике существование эпигеномного наследования и посттрансляционной модификации, хромосомного и генного импринтинга и пр. приводит к более высокой адаптивности клеток и многоклеточных организмов сравнительно с изолированными генами или генными комплексами). Происходит перераспределение эволюционного потенциала между селекцией культурных типов, социальных групп и индивидуального отбора внутри социальной группы в пользу первого и второго типов [Wilson, Wilson, 2007; Wilson, 2002].

Еще одна закономерность эволюции гоминид: исходным субстратом социокультурных адаптаций служат биологические дезадаптации. Когда

возможности усложнения организации «социального мозга», обеспечивающие рост численности социальных групп, были исчерпаны, материалом новой фазы эволюции человека стали социокультурные типы, сформировавшиеся на базе экстремальных вариантов гено- и фенотипов вблизи границы культурной адаптации и биологической дезадаптации. Происходит смена функций, и распространенные дезадаптивные типы фиксируются в популяции.

Не случайно наиболее ярко эта закономерность проявляется в сфере психофизиологии и психогенетики высшей нервной деятельности, выступающей предпосылкой духовной культуры и социализации. Организация человеческой психики, сделавшая возможной и эффективной СЕЧН, является двумерной и дуалистичной:

1) субстанционально-соматический дуализм — биологическая адаптация *versus* техно-культурная адаптация;

2) рефлексивно-когнитивный дуализм — эмоционально-интуитивистский (когерентный) *versus* логико-рационалистический (каузальный) способ идеального описания-оценки-предсказания объективной реальности.

Следующая бифуркационная точка — «смена доминирующей цели» социокультурной адаптации от преобразования поведения особи и группы в изменяющейся среде обитания к изменению самой среды в соответствии с уже существующей системой поведенческих стереотипов (генетически и социокультурно генерируемых и репродуцируемых). Данные культурной антропологии идентифицируют эту точку (рождение техногенной цивилизации) приблизительно XVII–XVIII вв. Как и предыдущая трансформация, новая смена лидера адаптациогенеза требовала достижения некоего порогового значения удельного веса соответствующей компоненты адаптации в интегральном ее значении.

Интегральная адаптивность оказывается производной от нескольких потенциально разнонаправленных актов. Новый уровень системы адаптациогенеза надстраивается (по типу эпиволии) над уже существующим путем расширения репертуара модуляций отдельных членов набора адаптаций/дезадаптаций. Феноменологически это проявляется в увеличении эффективности и скорости эволюции предыдущего уровня. Эти изменения не адекватны соответствующим структурным трансформациям адаптивной информации нижележащего уровня. Чем больше функциональное расстояние между уровнями, тем они более автономны друг от друга и тем труднее диагностировать связь между ними.

Наблюдатель, находящийся внутри системы, воспринимает ситуацию бифуркации в таком случае как акт свободного выбора (свободной воли), результат которого зависит исключительно от сформировавшейся у него системы ценностей. Это восприятие не может быть однозначно

разрушенным в результате выявления механизмов и каузальных связей, приведших к этой ситуации и влияющих на ее исход, поскольку сохраняется возможность интеграции нового знания в исходную систему ценностей.

Генно-культурная коэволюция и техногуманитарный баланс

Эпигенетические модуляции генетической информации, таким образом, служат передаточным механизмом, обеспечивающим коэволюцию модуса Дарвина—Вейсмана и модуса Ламарка, оставаясь сами по себе еще в границах сферы влияния собственно генетического кода. Для технологических адаптаций (инноваций) аналогичную функцию передаточного механизма по отношению к биологическим (генетическим в биологическом смысле этого термина) адаптациям играла до последнего времени культура.

Все три модуля СЕСН автономны и цикл генерации—фиксации адаптивной информации в каждом из них вращается с различными скоростями. Две бинарные коэволюционирующие связки между модулями — генно-культурная коэволюция и технокультурный (техногуманитарный) баланс предотвращают эрозию или деструкцию СЕСН.

Но та же самая дифференциация адаптационных циклов каждого модуля имеет еще одно следствие. Суть его можно вывести, не выходя за рамки биологического модуля СЕСН. Общая схема адаптиогенеза применительно к гоминидам предусматривает закономерную схему фаз адаптивной пластичности и устойчивости в процессе перехода от индивидуально-онтогенетического к популяционному и филогенетическому уровням фиксации адаптивных изменений. Как пишут в своей недавней работе американские антропологи К. Кузейв и Дж. Брегг [Kuzawa, Bragg, 2012], первоначальный адаптивный ответ на экологические вызовы затрагивает, прежде всего, то, мы называем биологическим компонентом СЕСН, т.е. фенотипические модификации гомеостатических процессов, в пределах уже существующей генетической нормы реакции. В силу последнего обстоятельства такие адаптивные изменения отличаются высокой лабильностью и легко реверсируют к исходному состоянию. (Примером, по мысли авторов, может служить увеличение частоты сердечных сокращений и объема крови, наблюдающиеся при попадании человека в условия высокогорного кислородного голодания). При наличии длительного, выходящего за рамки жизни одного поколения временного экологического тренда этот первоначальный адаптивный ответ, снижающий емкость гомеостатических систем организма к дальнейшим изменениям условий жизни, замещается более устойчивыми адаптивными трансфор-

мациями (в описанном примере — увеличением объема легких и т.п.). При сохранении этого тренда адаптации этого уровня становятся уже необратимыми.

В целом в процессе эволюции гоминид [Kuzawa, Bragg, 2012] фенотипическая пластичность «прокладывает путь» и способствует генетической (добавим — социокультурной и технологической) эволюции в соответствии со следующим алгоритмом: 1) популяция внедряется в новую (в пространственном или временном отношении) среду обитания; 2) фенотипическая пластичность обеспечивает адаптивную «подгонку» фенотипа и окружающей среды; 3) изменения генотипа замещают фенотипические модификации, открывая путь для последующего филогенетического развития. Отметим, что описанные представления на самом деле повторяют на новом эмпирическом материале и в новом теоретическом контексте идеи И.И. Шмальгаузена, М. Лернера и др., высказанные в 1940–50 гг.

Если развить этот тезис, то первоначальные фенотипические и эпигенетические адаптивные трансформации переходят на уровень социокультурного компонента СЕСН, а затем инициируют технологические инновации, которые вызывают уже вторичные изменения эколого-культурной среды. Таким образом, фенотипическая пластичность биологического компонента СЕСН, в отличие от традиционной неodarвинистской точки зрения, играет роль не тормоза, а пускового механизма и энхансера макроэволюционного и глобально эволюционного процесса. Это же подтверждает высказанную выше догадку, что биологические компоненты выступают в качестве субстратной основы социокультурно- и техногенеза.

При этом и социокультурные, и технологические адаптации вписываются в предсуществующую систему адаптаций биологических не полностью и возникающие между ними расхождения колеблются по своей величине, но в целом перманентно расширяются (что было замечено уже в XIX в. Ф. Ницше). В результате возникает проблема согласования и интеграции в целостную систему трехкомпонентной САС гоминид.

С одной стороны, эпигенетические процессы обеспечивают субстратную основу социокультурных адаптаций, предоставляя для них строительный материал, пригодный для превращения в культурные инновации. С другой — они же позволяют культуре играть роль триггера, реформатирующего генетическую норму реакции с одного модуса на другой в соответствии с наличным культурно-экологическим контекстом. Таким образом, между биологическим и социокультурным уровнями адапциогенеза возникает цикл позитивной и негативной обратной связи (генно-культурная коэволюция). Аналогичная система (техногуманитарный баланс) возникает и между культурой и технологическими инновациями.

В этом случае культурная наследственность, во-первых, формирует репертуар модулей социально востребованных научно-технологических разработок; во-вторых, изменяет спонтанную вероятность актуализации конкретного эпигенетического модуля; в-третьих, осуществляет селекцию отдельных собственно биологических адаптаций. Последний процесс (индуцированная культурой селекция генетической информации) эквивалентен замещению культурных адаптаций их биологическими аналогами.

Социокультурная составляющая эволюционного процесса протекает со значительно более высокой скоростью сравнительно с биологической компонентой. Как следствие — в определенных пределах могут получать распространение такие элементы культуры, которые не соответствуют условию роста частоты генов, обеспечивающих максимально возможную биологическую приспособленность.

Приведенная аргументация справедлива и для другой бинарной связи: культура — технология. В условиях значительных резервов ресурсов, могущих быть использованными в качестве средства выживания, доминирование технологических адаптаций обеспечивает лучшую выживаемость соответствующих типов социума. Однако технологические инновации влекут за собой несоответствие между поведенческими стереотипами, сформировавшимися в данном типе культуры, и условиями технологизированной среды обитания. Этот дисбаланс потенциально все более усиливается и передается далее — на особенности биологической конституции, контролирующие их кластеры генома и т.д. Особенности этого дисбаланса проанализированы достаточно давно — еще в начале прошлого века известнейшим российско-украинско-французским биологом Ильей Мечниковым в его хрестоматийной диалогии «Этюды о природе человека» — «Этюды оптимизма».

В последнее время некоторые исследователи, чтобы подчеркнуть ведущую роль эволюции культуры в бинарной связке «биологические адаптации» — «социокультурные адаптации», предпочитают внести уточнение в теорию генно-культурной коэволюции: «направляемая культурой генно-культурная коэволюция» (Richerson et al., 2010). Согласно палеогенетическим данным индуцированные культурой изменения генетических частот стали ощутимыми в период так называемой неолитической революции — перехода к земледелию и скотоводству. Касались эти преобразования не только изменений частот генетических детерминантов метаболизма лактозы и его регуляции в онтогенезе (параллельно развитию молочного скотоводства), с одной стороны, и углеводного обмена (параллельно развитию земледелия вообще) и гематопатий (параллельно развитию орошаемого земледелия в зонах распространения малярии) — с другой. Не менее важным было и увеличение частоты гена *FOXP2*, ассоциированного с развитием речевых способностей.

Вспомним, что еще Н.Н. Моисеев (2000) выдвинул гипотезу, согласно которой в ходе неолитической революции направление генетической составляющей антропогенеза претерпело эволюционную дихотомию. В современном виде эта гипотеза выглядит так [Чешко, 2012]. Изменение структуры генома, способствовавшее снижению конфликтности внутри группы, которое произошло приблизительно 40 млн лет назад, было одновременно и предпосылкой, и элементом приспособления предков современного человека к социализации. Все это проявилось спустя значительный период времени — в период так называемой неолитической революции.

Адаптивной стратегией скотоводческих этносов являлась неограниченная экспансия. Они нуждались в постоянных перемещениях в пространстве, поиске новых пастбищ, завоевании новых территорий.

Адаптивная стратегия земледельческих этносов подразумевала гармонизацию отношений с природной средой и стабилизацию социокультурной структуры. Они сосредоточивались в долинах рек, выживание общества при этом предполагало жесткие ограничения агрессивности и способность к безоговорочному подчинению занимающим более высокое положение в социальной иерархии индивидам в условиях высокой плотности населения.

Соответственно этому «гены риска» и пассионарные генотипы должны были накапливаться в скотоводческих, а альтернативные аллели — в земледельческих этносах. Однако западная (техногенная) цивилизация сочетает в себе черты и того, и другого культурного и биологического архетипа. Возможно, и возникла она в результате столкновения и интеграции в единую биосоциальную систему земледельческих и пастушеских культур. Именно в результате этого могла возникнуть качественно новая адаптивная стратегия, которую можно назвать стратегией устойчивой экспансии. Сочетание консервативно-охранительных элементов земледельческой цивилизации с агрессивно-ассимиляторскими «культур-генами» пастушеских племен сформировало систему социокультурного гомеостаза, основанную на согласовании противоположно действующих факторов. Это и был зародыш современной техногенной цивилизации. Логика отношений с иными племенами и средой обитания в целом оказалась инвариантом, обеспечивающим выживание западного человека в условиях, когда природные ресурсы и возможности самовосстановления биосферы еще значительно превосходят человеческие потребности. При этих условиях природные опасности и социальные риски преодолеваются в результате дальнейшего расширения и углубления познавательно-преобразовательной деятельности человека во времени и пространстве.

Итак, социокультурные трансформации отражаются на частоте соответствующих генов, а численное преобладание тех или иных генетических

детерминантов является дополнительным условием стабилизации или неустойчивости общего направления исторического развития. Так, например, особенности японского национального характера — эмоциональная сдержанность и стремление к ослаблению эмоциональной напряженности в межличностных контактах — обусловлены, вероятно, высокой частотой встречаемости одного из аллелей гена, контролирующего рецепцию серотонина. Сама же эта особенность японского генофонда имеет социокультурное объяснение — жесткое давление отбора на интеграцию индивида в жесткую систему социальных связей [Chiao, Blizinsky, 2010].

Изначально социокультурная наследственность обеспечивала эколого-биологический баланс рода *Ното*. Обособление самостоятельной формы адаптаций — технологических инноваций серьезным образом трансформировало эту функцию за пределы исходной адаптивной нормы реакции. Собственно, технологические инновации формирует множество потенциально возможных и актуально существующих социокультурных адаптивных модулей. Прежде всего это влияние технологических инноваций отразилось на прогрессирующей «филиации» социальной структуры. Неолитическая технологическая революция (переход к земледелию и скотоводству), помимо биологических последствий, обусловленных прежде всего изменением повседневной диеты (появление молока, углеводы и пр.), нарушила «нормальный» половой диморфизм, обеспечивая мужскому полу больший доступ к ресурсам [Foley, Gamble, 2009]. Тем самым доминирующий вектор социокультурной эволюции отношений между мужским и женским полами, наложившись на их альтернативные стабильные репродуктивные стратегии (как интеркластерный сегмент СЕСН), был надолго предопределен. При наличии выраженного внутрипопуляционного и внутripолового полиморфизма по этому признаку доминирующая репродуктивная стратегия мужского пола у гоминид близка к классическому *r*-типу (оставить как можно больше потомков) и женского пола — к *K*-типу (довести как можно больше потомков до репродуктивного возраста).

Элементарной иллюстрацией может служить распространение серповидно-клеточной анемии в зонах орошаемого тропического земледелия и пр. Более сложный, но и особенно рельефный пример функционирования этого эволюционного механизма — генезис символической речи и религии, предпосылки и механизмы которых стали выявляться в последние десятилетия благодаря синтезу достижений естественно-научного и гуманитарного знания. Так, возникновению языка и речи только в 2011–2012 гг. посвящены исследования Д. Бикертонна (2012), М. Томаселло (2011), С.А. Бурлак (2011). Пусковым механизмом, инициировавшим современную символическую речь, стала по этой гипотезе протокультурная (поведенческая) адаптация к сокращению площади тропических лесов и как след-

стве — кормовой базы. Адаптивный ответ наших предков заключался в смене источников питания (трупоедание) и, в свою очередь, переход (конструирование) в новую экологическую нишу. Эволюция предшествовавших в популяциях гоминид репертуаров морфофизиологических и этологических признаков получила новое направление, связанное с активизацией прогресса межиндивидуальной и социальной коммуникации.

Гоминиды имели двойное потенциальное, а точнее, проективное (реализующееся в результате длительного эволюционного тренда) преимущество перед конкурентами в новой экологической нише. Заключалось оно, во-первых, в возможности питаться непосредственно свежееубитой добычей хищников. Во-вторых, гоминиды имели возможность использовать в качестве источника питания костный мозг, слабо доступный большинству падальщиков. И та, и другая возможность открывались благодаря использованию орудийной деятельности.

Актуализация этой потенциальной адаптивности была обусловлена социальной организацией и способностью эффективной коммуникации внутри социальной группы, т.е. способностью «мобилизовать» и координировать действия членов группы по защите и «утилизации» добычи. Она сыграла наряду с наукой и технологией роль социокультурной адаптации. Все это запустило ветвящийся каскад социокультурных адаптаций, одна из ветвей которого привела к замещению исходно доминировавшей — мимической и жестовой системы коммуникации маргинальной — звуковой. Особенности последней способствовали приобретению системой коммуникации свойства, которое известнейший американский лингвист Н. Хомский назвал перемещаемой референцией. Под этим термином имеют в виду отсутствие жесткой привязки к состоянию индивида и ситуации, в которой он находится [Бинкертон, 2012].

Аналогично религиозность является следствием структурно-функциональной организации человеческой психики и, с другой стороны, — основой социокультурной адаптации, обеспечившей наряду с речью прогрессирующую сапиентацию предков человека.

Происхождение некоторого множества мыслеформ есть результат последовательных трансформаций, начальным пунктом которых является интуитивный невербализируемый образ, а конечным — вербально-логический концепт. Содержание этих концептов можно передать одним словом — трансцендентное (концепт Бога и все с ним связанное, в том числе). Происходит это в ходе взаимодействия двух информационных систем. Последние выступают друг для друга в качестве информационных субстратов — образно-эмоционального и вербально-логического (дискурсивного). Эволюция ментальности образует траекторию, имеющую два узла-аттрактора. Один из них соответствует доминированию религии, а другой — рационализма в духовной культуре [Чешко В.Ф., 2012, с. 439].

Эту дихотомию, имеющую, очевидно, эволюционно-психологические корни, можно проследить и дальше — по мере ее необратимой автономной трансформации в элемент социокультурного адаптивного комплекса (культурного генома, если можно так выразиться — сугубо метафорически, разумеется).

В эволюционно-эпистемологическом аспекте религия и наука оказываются равноправными и альтернативными несущими конструкциями стабильной эволюционной стратегии человечества; их баланс обеспечивает устойчивость и адаптивную пластичность эволюционного вектора антропогенеза.

К обеим социокультурным адаптациям (речь и религиозность) в равной мере относятся комментарии Д. Бикертонна (2012): «первоначально, будучи поведением и добавим с нашей точки зрения, генетически детерминированным и эволюционно обусловленным поведением, повлекшим за собой изменения в генах, он превратился в серию генетических изменений, запускающих новые изменения поведения». И в конечном итоге эти поведенческие трансформации освобождаются от прямой зависимости от эволюции генома, обретая собственные репликаторы и собственные эволюционные модусы.

Эволюция структуры стабильной адаптивной стратегии *Homo sapiens* и ее особенности

Общий вид эволюции эволюционной (адаптивной) стратегии гоминид можно представить в виде 4-фазной схемы, где каждая фаза отличается от остальных структурой коэволюционных связей между модулями и лидером, вносящим основной вклад в интегральную адаптивность.

На первой стадии (фаза I) развития СЕСН биологические адаптации играли роль лидера, инициировавшего возникновение поведенческих и технологических компонентов.

Все возрастающая роль социокультурного наследования отразилась в генезисе и результатах социально-экологических кризисах — эволюционных бифуркациях в ходе антропогенеза [Глазко, Иваницкая, 2010]: «*палеолитический кризис (революция)*» (0,7–1,2 млн лет назад), «*верхнепалеолитический кризис*», или «*культурная революция кроманьонцев*» с последующим вытеснением неандертальцев *Homo sapiens* современного типа (кроманьонцами); «*неолитический кризис (революция)*» (XII–X тыс. до н.э.), имеющий еще и другое название — «кризис консументов», поскольку в его основе лежало резкое сокращение численности биологических видов вследствие небывалого развития технологий охоты.

Итак, сформировалась относительно устойчивая в эволюционном плане конфигурация стабильной адаптивной стратегии гоминид (фаза II). С этого момента и до появления технологий управляемой эволюции куль-

тура выполняла функции балансера-контроллера, интегрирующего в целостную систему биологические и технологические компоненты.

Попутно это означало, что весь мир становится экологической нишей *Homo sapiens* и согласно с правилом Гаузе в нем нет места другим разумным конкурентам. Спустя некоторое время этот принцип и отразился в библейском мироощущении — все для человека, все на благо человека. Окончательно определились границы экологической ниши рода *Homo* как социального «животного, наделенного разумом», т.е. существа, не приспособляющегося к среде обитания, приспособляющего реальность к самому себе и самого себя к некоему идеальному образу.

Итак, в общем виде эволюционный ландшафт, который сформировал СЕСН, возник в результате синхронного или последовательного возникновения нескольких эволюционных векторов.

1. Экстраверсивная проективно-деятельностная поведенческая интенция (*адаптивная инверсия 1*).

2. Мимезис, обозначивший возможность генерации и распространения в пределах социальной группы и вне ее адаптивных поведенческих и орудийных инноваций (социокультурная наследственность).

3. Социальный (макиавеллистский) интеллект, выражающийся в способности прогнозировать и манипулировать коммуникативной структурой социальной группы и поведением ее членов.

4. Расширение системы межиндивидуальной коммуникации за пределы собственной социальной группы и собственного биологического вида на весь остальной мир.

5. Символическая система коммуникации — речь посредством мимического и звукового кода, а затем письменность (символическая наследственность).

6. Спиритуалистская трансформация эмоционально-образной компоненты мышления, ведущая к интериоризации функций социального контроля и развитию религиозности.

7. Доминирование рационалистической компоненты мышления, катализировавшее развитие науки и технологии как *энхансера адаптивной инверсии 1*.

В ходе становления IV фазы эволюции СЕСН к ним добавилось еще несколько (эти пункты здесь только заявлены, поскольку без них излагаемая концепция не будет валидной, они будут рассмотрены в следующей статье).

8. Рекурсивное распространение проективно-деятельностной интенции на самого человека — его геном, психику и культуру (*адаптивная инверсия 2*).

9. Интроверсивная переориентация вектора когнитивной активности с научного объяснения окружающего мира на само научное познание, что

привело к расслоению последнего на рискованную (классическую) и предупреждающую науку и инициацию интернальных социокультурных механизмов контроля реализации проективно-деятельностной поведенческой интенции (*адаптивная инверсия 3*). К проявлениям развития упомянутых контрольных механизмов относится инициализация и интеграция в жизнь социума вообще и его политической сферы в частности биоэтики и биополитики как социальных институтов, такой контроль осуществляющих.

В этом перечне наибольший удельный вес имеют четыре пункта — 1, 8, 9 и 7. Первые три (адаптивные инверсии) играют роль драйверных макромутаций, определяющих направление последующего эволюционного тренда *Homo sapiens* (общий вектор социокультурноантропогенеза), последний (рационализация менталитета) резко ускоряет темпы глобально эволюционных преобразований, одновременно предельно быстро расширяя границы свойственной человеку экологической ниши и поднимая границы эволюционного риска до экзистенциального уровня.

Если подвести итоги исследованию стабильной адаптивной стратегии человека (СЕСН), можно сделать достаточно тревожный вывод. В результате функционирования «тройной спирали» СЕСН в конфигурации, соответствующей IV фазе ее эволюции, всего за 350–400 лет существования был достигнут принципиально важный рубеж. С появлением генных и информационных технологий уровень эволюционного риска (деструкция стабильной эволюционной стратегии *Homo sapiens*) достигает экзистенциального уровня, поскольку обе коэволюционные связки заменяются системой, где статус технологических инноваций однозначно определяет статус генома и культуры носителя разумной жизни.

После неолитической революции последующие эволюционные кризисы СЕСН связаны с возникновением новых систем репликации-фиксации адаптивной информации — письменности и книгопечатания. Однако «судьбоносными» они стали только тогда, когда процесс распространился на механизм генерации адаптивной информации. Возникли наука и технология в современном значении этих терминов, а с ними — техногенная цивилизация. В комплекс социокультурных адаптаций, ведущих к ее формированию, включает в себя по крайней мере две основные трансмутации менталитета:

- во-первых, экстраверсивная, проективно-деятельностная направленность (перманентное недовольство своей эколого-культурной средой обитания и стремление ее усовершенствовать);

- во-вторых, доминирование рационализма над эмоционально-образной компонентой мышления.

Синергия этих двух элементов ментальности послужила энхансером и катализатором прогрессивной эволюции (нарастание системной сложности), но одновременно существенно повысила величину эволюционного риска. Это понятие в данном случае отражает тот, к сожалению уже тривиальный факт, что связь продолжающей нарастать системной сложности, отождествляемой в культуре техногенной цивилизации с «научно-технологическим прогрессом», и адаптивности становится все менее однозначной и все более противоречивой. Если изложенная схема цикла эволюционных трансформаций СЕСН верна, то цикл вращения тройной спирали, начатый биогенезом и завершившийся техногенезом, близится к завершению первого витка и выходу на новый уровень цепи коэволюционных преобразований.

Мы уже упоминали, что генезис СЕСН включал в себя в качестве ключевого компонента адаптивную инверсию, в результате которой трансформация среды обитания из причины эволюционного процесса стала его продуктом, а представители рода *Номо* — из объекта в субъект адаптиогенеза. Теперь приходится сделать уточнение — эта инверсия оказывается только первым звеном начавшихся преобразований. В соответствии с нашей схемой ее можно далее именовать *прямой адаптивной инверсией (адаптивной инверсией 1)*. Неустойчивость IV фазы эволюции СЕСН, о которой говорилось выше, связана с генезисом *рекурсивной адаптивной инверсией (адаптивной инверсией 2)*. В результате этого инициируется новый цикл адаптивных (и не только адаптивных) преобразований собственно генетического компонента СЕСН. На этот раз эти преобразования уже не стохастичны и спонтанны, а телеологичны, технологичны (рационально организованы и конструктивны), детерминируются культурой (точнее, ментальностью как компонентом культуры). Следует только учесть, что сама культура также находится под прямым и косвенным влиянием технологии. Именно поэтому термин «рекурсия» будет в данном случае более точным, чем «реверсия», — речь идет не об обращении вспять эволюционного вектора, а о приобретении эволюционным ландшафтом нового измерения, которое при проекции на исходный топос выглядит как возврат к прежней направленности глобальной эволюции. Западной ментальностью собственный эволюционно-биологический фундамент (геном) саморефлексируется как нечто постороннее, еще одна сфера внешней среды, открытая для рационального контроля и манипулирования. Это суждение является, безусловно, справедливым, по крайней мере, как одна из тенденций векторов многомерной культурной эволюции. Феноменологически это экспрессируется как декларация степени освобождения социокультурной организации

от власти биологической конституции человека в качестве мерила социального прогресса.

Понятие «эволюционный риск» вошло в употребление вначале в социогуманитарных дисциплинах, впервые его использовал Никлас Луман. Понятийно-категориальный аппарат для создания концепции эволюционного риска может быть практически в неизменном виде заимствован из исследований по экономической теории инновационных процессов.

Структура эволюционного риска может быть оценена по следующим параметрам:

1) вероятность адаптационного успеха/неудачи эволюционной инновации, что равносильно способности решить ключевую проблему социокультурноантропогенеза — выживание и расширение границ экологической ниши *Homo sapiens*;

2) вероятность генерации эволюционной инновации, способной потенциально решить/обострить дисбаланс САС со средой обитания, или генно-культурную коэволюцию, или технокультурный баланс;

3) наличие/отсутствие достаточных ресурсов эколого-культурной среды, необходимых для обеспечения реализации той эволюционной траектории (сценария), которая актуализируется эволюционной инновацией;

4) прогнозируемые снижение/рост вероятности генерации и фиксации новых эволюционных инноваций, т.е. пластичности/устойчивости САС и всех ее компонентов. Можно предположить, что в этом случае роль такого регулятора, способного обеспечить поддержание параметра пластичность/устойчивость САС в пределах адаптивной нормы, играет элемент, скорость эволюционных трансформаций которого лежит между наиболее быстрым и наиболее медленным элементами триады при условии, что диапазон возможных скоростей минимум двух таких элементов перекрывается с третьим. Как ясно из вышесказанного, в настоящее время единственным претендентом на эту роль выступает культура. Отсюда вытекает следующий параметр;

5) соответствие/несоответствие прогнозируемого эволюционного сценария исходной базисной системе параметров, признанных не подлежащими пересмотру в рамках системы общечеловеческих ценностей.

Последний критерий выглядит, с одной стороны, в сравнении с остальными субъективным, поскольку отражает рефлексию «природы человека». С другой стороны, его оценка выглядит наиболее лабильной и подверженной посторонним манипуляциям со стороны социальных групп — носителей маргинальных систем ценностей. Однако при более внимательном анализе выясняется, что в постакадемической науке именно этот показатель в сильнейшей мере способен повлиять на оценку остальных критериев. Именно он определяет эволюционный ландшафт, решающий судьбу адаптивной/дезадаптивной инновации. Более того, именно он является

ключевым с точки зрения расчета интегральных параметров оценки эволюционного риска — эволюционной корректности и эволюционной эффективности.

Эволюционной корректностью (K) будем считать

$$K = \left(1 - \frac{dV}{dt} \right),$$

где V — расхождение между реальным эволюционным сценарием и признанным оптимальным со временем t .

Эволюционная эффективность E определяется как геометрическое среднее относительной адаптивности A всех членов эволюционирующей конфигурации, в нашем случае — генома (g), культуры (c) и технологии (st):

$$E = \sqrt[3]{A_g A_c A_{st}}.$$

Таким образом, достижение эволюционного успеха за счет элиминации хотя бы одного компонента СЕСН равносильно падению эволюционной эффективности до нуля. Иными словами, в биолого-эволюционном аспекте этот параметр оказывается по отношению к эволюционному риску равным $R_{gen} = 1 - E$. С другой стороны, в социокультурном (гуманистическом) аспекте эволюционный риск инициируется расхождением между максимально эффективным и оптимальным сценариями эволюции:

$$\frac{dR_{hum}}{dt} = \frac{d(E_{eff} - E_{opt})}{dt}.$$

(Эффективность эволюционного сценария как результат социального выбора, как легко заметить, не может превышать максимально возможной для данного типа САС и данного эколого-культурного ландшафта: $E_{eff} \geq E_{opt}$). Общая величина эволюционного риска определяется как сумма биологической и культурной составляющих: $R = R_{gen} + R_{hum}$. Третий компонент адаптивной стратегии — технологические адаптивные инновации (R_{tech}) — входит в это уравнение в скрытом виде, поскольку является производным от социального заказа (социокультурных адаптаций), а последний, в свою очередь, формируется расхождением техногуманитарного баланса, а через последний — дисгенезом генно-культурной коэволюции. Таким образом, технологический эволюционный риск есть производная функция от его биологической и социокультурной составляющих. Приведенное выше уравнение величины эволюционного риска приобретает окончательный вид

$$R = R_{gen}(R_{hum}) + R_{hum}(R_{gen}) + R_{tech}(R_{gen}R_{hum}).$$

«Визуализация» третьего (технологического) компонента эволюционного риска означала бы деструкцию интегральной организации СЕСН, ее полную редукцию к технологическим инновациям, оптимизации среды обитания с точки зрения обеспечения технологических процессов и адаптации носителя интеллекта к эффективности выполнения тех же самых функций. В этом случае $R = R_{tech} = 1$.

Потенциальная возможность такого эволюционного сценария детерминируется относительной автономией когнитивно-познавательной (теоретическая наука) подсистемы технологического компонента от его проективно-деятельностной (собственно технологической) подсистемы, напрямую связанной с социокультурным компонентом СЕСН.

Следующими факторами возможной деструкции является сам механизм генерации элементарных адаптаций и их интеграции в общую систему адаптиогенеза. В большинстве своем как возникновение, так и селекция нового «номинанта» происходят по мозаичному типу, решая эволюционно-адаптивные задачи *ad hoc*. Интеграция отдельных адаптаций в единую систему реализуется только *a posteriori* — путем дополнительной притирки и отбора факторов дифференциальной модификации первоначального (как правило, плейотропного) эффекта. Как писал не так давно американский психолог-когнитивист и популяризатор Г. Маркус (2011), продукты адаптивной эволюции вообще и организация мозга человека в частности представляют собой множество «клубжей» (клубжей) — последовательности относительно малоэффективных, по отдельности адаптивных или технических решений, которые в своей совокупности образуют чрезвычайно эффективный адаптивный комплекс. Это суждение автор относил к биологическим (генетическим) адаптациям, но в той же мере оно применимо и к адаптациям социокультурным — в обоих случаях адаптивность или дезадаптивность формируется как атрибут дискретного фрагмента информации, но проявляется только в комплексе с другими аналогичными фрагментами и в контексте определенной среды обитания. Поэтому не должна, по нашему мнению, вызывать удивление явная переключка приведенных эволюционно-психологических идей Г. Маркуса и, допустим, ключевых положений функциональной теории культуры Б. Малиновского (2005).

Все это есть следствие самого внутреннего механизма эволюционного процесса вообще и прогрессивной эволюции (возрастания системной сложности) в частности. Адаптиогенез в каждом конкретном случае решает локальную эволюционную проблему — оптимизацию тех параметров взаимодействия конкретной эволюционирующей (самоорганизующейся) системы со средой обитания, которые в данное время и в данном месте оказываются приоритетными с точки зрения дальнейшего существования системы. И сами «проблемные ситуации», и принимаемые эволю-

цией их решения оказываются в целом автономными и касаются автономных, зачастую взаимоисключающих или конфликтующих системных параметров.

Таким образом, генерация и фиксация адаптивных инноваций, равно как их совокупный на данное время (промежуточный) результат, оказываются построенными по фрактально-модульному принципу. Уже сама организация стабильной адаптивной стратегии *Homo sapiens* представляет собой, как мы помним, пример такой модульной организации.

Очевидно, тот же принцип действует и внутри каждого элемента СЕСН. На уровне генома (модуль биологических адаптаций) возникает тройственная модульная структура. Последняя включает три набора функционально автономных, но перекрывающихся в программно-информационном отношении генетических кластеров, обслуживающих соответственно развитие интеллекта, половой процесс и выкармливание особей ювенильного возраста. (Последняя функция оказывается еще более значимой в сравнении с другими видами млекопитающих в силу крайне длительного периода детства и полового созревания. В свою очередь, значимость последнего фактора проистекает, в том числе, из сочетания адаптивной цефализации, с одной стороны, и затрудненного в условиях бипедализма деторождения — с другой.) Этот конфликт формирует один из главных градиентов эволюционного риска биологического модуля СЕСН — рост вероятности развития онкологического перерождения тканей *versus* ускоренное старение и утрату регенеративной способности — «генетическую ось зла» — по терминологии некоторых современных эволюционистов [Crespi B.J., 2010].

В соответствии с описанным алгоритмом генезиса эволюционного риска этот параметр применительно к социокультурному адапционному модулю («культурная ось зла», если уж следовать приведенной метафоре) формируется вдоль градиента социальная стабильность *versus* прогрессивизм/экспансионизм или (по «фенотипическому» выражению) закрытое общество *versus* открытое общество. В наших предыдущих публикациях [Чешко, 2012; Глазко, Иваницкая, 2010 и др.] было аргументировано, что в истории этот адаптивный конфликт сопряжен с взаимодействием в духовно-психической жизни человека двух информационных систем, выступающих друг для друга в качестве информационных субстратов — образно-эмоционального и вербально-логического (дискурсивного). Вследствие этого эволюция ментальности образует траекторию, имеющую две узловые точки, соответствующие доминированию религии или рационализма в духовной культуре.

Плейотропность отдельных адаптивных эффектов формируют волну эволюционных преобразований в многомерном топосе адаптиогенеза, распространяющихся на все составляющие адаптивной стратегии, равно

как и на социокультурно-экологическую среду обитания. Количество измерений эволюционного ландшафта в случае *Homo sapiens* пропорционально в только в первом приближении ($N_{gen}N_{hum}N_{tech}$). В результате двумерная схема эволюции отдельной инновации, целиком укладывающаяся в бинарную связку движущего и стабилизирующего отбора, приобретает вид крайне запутанной траектории при попытке ее проекции на многомерный график частотного распределения системного множества таких инноваций. На практике это означает, что элементарные адаптации пребывают по отношению друг к другу в состоянии постоянно генерируемого и преодолеваемого конфликта.

В отличие от элементарных актов адаптации к изменениям экологической среды такие межадаптивные конфликты развиваются по коэволюционному механизму, их исход является изначально открытым и продолжается значительное по эволюционным масштабам время. Автор фиксирует эту особенность антропогенеза метафорически, но, в общем, вполне согласно с обширными эмпирическими обобщениями других исследователей: «человеческий разум и мозг развиваются прогрессивно на краю пропасти, [именуемой] шизофрения, представляющей собой фенотипическую экспрессию дифференциальной дисфункции конкретной адаптаций» [Crespi, 2010]. Аналогичным образом аутизм также является результатом такого адаптивного конфликта — на этот раз социального интеллекта и когнитивно-систематизационной способности.

Расхождение элементарных влияний на результирующее значение адаптивной эффективности означает, следовательно, рост, а схождение — уменьшение эволюционного риска. Иными словами, эволюционный риск является побочным результатом адаптиогенеза, возникающим вследствие коэволюционных (стохастических), а не функциональных и каузальных связей между его автономными элементами.

В такой системе наличие ассоциации между отдельными элементами генома, культуры и технологии, имеющими явную тенденцию к распространению (росту числа носителей и/или усилению экспрессивности), служит одним из аргументов в пользу наличия:

1) *внутригеномной коэволюции (внутригеномных конфликтов)*, возникающей вследствие стохастического механизма генерации адаптивной/дезадаптивной генетической информации между отдельными ее плеiotропными фрагментами в соответствии с модусом Дарвина;

2) *генно-культурной коэволюции*, в ходе которой элементарные фрагменты генетической информации используются как субстратная основа для адаптации социокультурной независимо от их собственно биологического адаптивного значения;

3) *внутрикультурной коэволюции* между элементами культуры, обусловленной разными аспектами биосоциальной жизни или возникшей

в иной эколого-культурной среде, но сохраняется вследствие смысловой ассоциации с несущими элементами адаптивной в целом системы культурных ценностей и ментальных стереотипов;

4) *техногуманитарного баланса*, основанного на спонтанно возникающих ассоциациях между новыми технологическими разработками и социокультурными средствами их обеспечения;

5) *межтехнологическими конфликтами* (технологическими ловушками), обусловленными взаимоисключающими или с трудом совместимыми требованиями отдельных технологических инноваций к социокультурной среде или дисбалансом требований различных социальных общностей к таким разработкам.

Все эти пять типов деструктивной коэволюции (эволюционного риска), как легко заметить, сводятся к конфликтам либо между адаптациями к действию различных факторов, либо между векторами адаптиогенеза, свойственных дифференцированных популяционно-генетических или социокультурных структур.

Оценок интегральных показателей эволюционного риска по всем приведенным выше составляющим в литературе не обнаружено, что вполне понятно, учитывая неразработанность всей концепции эволюционного риска. Однако существуют некоторые косвенные данные, позволяющие оценить частные проявления эволюционного риска применительно к генетической (биологической) составляющей СЕСН, т.е. к росту частот различных молекулярно-генетических патологий. В соответствии с выкладками канадско-американского эксперта в области эволюционной биологии Бернарда Креспи (в свою очередь, основанных на данных других исследователей) доля ассоциированных с наследственными патологиями структурных генов или отдельных гаплотипов, для которых четко зарегистрировано положительное давление отбора в течение последних 10 тыс. лет эволюции человека, составляет 17–21% для неврологических заболеваний и 15–21% — для заболеваний иной этиологии. В контрольной группе (пул генов, в котором позитивный отбор в ходе соответствующего периода антропогенеза не наблюдался) аналогичный показатель колебался в пределах 21–25%. Креспи приходит к очевидному, на наш взгляд, заключению, что доказательств накопления генов, детерминирующих развитие наследственных патологий, в ходе исследованных фаз эволюции человека к настоящему времени не получено, однако в той же мере цитируемый исследователь утверждает, что среди генов, которые накапливались в течение последних периодов эволюции *Homo sapiens*, чаще обычного встречаются детерминанты, ассоциированные с нейropsychическими расстройствами. К их числу относятся шизофрения, маниакально-депрессивный психоз, депрессия, дислексия, аутизм, болезни Альцгеймера и Паркинсона, эпилепсия [Crespi B.], 2010, p. 300].

Создается впечатление, что избыточная по отношению к норме экспрессия специфических «человеческих» признаков, причастных к развитию речи, символического мышления и социального и эмоционального интеллекта.

Если этот вывод не будет пересмотрен в ходе дальнейших исследований, то он вполне адекватно впишется в развиваемую нами концепцию стабильной адаптивной стратегии и эволюционного риска. В сущности, он непосредственно ведет к предположению, что ассоциация между генетическими дезадаптациями и культурными адаптациями должны наблюдаться чаще, чем бинарные связи генетических и социокультурных адаптаций.

Установление ассоциации биологическая дезадаптация — социокультурная адаптация эквивалентно установлению коэволюционного отношения между ними. Дезадаптивные проявления отдельных элементов генома и его производных (протеинома, метаболома, фенома) компенсируются ассоциируемыми с ними элементами культуры, становятся элементами культуры. Очевидно, следующей фазой развития коэволюционного отношения становится интеграция генно-биологического компонента в общую систему социокультурной адаптации в качестве его биологической (субстратной) предпосылки.

Однако коэволюционная связка элементов культуры с биологически дезадаптивными признаками и генами может устанавливаться и минуя первую (компенсаторную) фазу своего генезиса. В этом случае негативная индивидуальная селекция сменяется позитивным отбором на групповом уровне. Хрестоматийным примером может служить распространение генов серповидно-клеточной анемии и других гематопатий в зонах распространения орошаемого земледелия. Селективным фактором в данном случае является распространение возбудителя и переносчиков малярии. Результирующая адаптивной эффективности определяется совокупным равновесием двух дезадаптивных, но антагонистических эффектов аллелей серповидно-клеточности, с одной стороны, и адаптивностью культурного баланса в рисоводческих районах — с другой. (Отметим, что здесь наличие культурно-технологического комплекса, связанного с развитием орошаемого земледелия и выбором риса в качестве основной зерновой культуры, стало не первопричиной, а лишь усилителем процессов накопления генетического груза, связанного с серповидно-клеточной анемией.)

Очевидно, сходным образом развивается элиминация в популяции генов лактозной недостаточности во взрослом возрасте у европейских народов. Неспособность сбраживать молочный сахар по окончании периода грудного вскармливания у детей встречается не более чем у 2% голландцев и других западноевропейцев и 98% китайцев и японцев [Фогель,

Мотульски, 1990]. Обратная зависимость должна, очевидно, наблюдаться в отношении способности усваивать соевые белки и обезвреживать содержащиеся в сое сапонины. Генетические различия в этом случае инициируются социокультурными трансформациями образа жизни — выбором варианта диеты, способной решить проблему обеспечения организма белковой пищей. В конечном итоге это играет значительную роль в эпидемиологии и дифференциальной структуре рисков развития патологических процессов в онтогенезе [Cederroth, Nef, 200, p. 34]. Этот вывод можно интерпретировать в рамках излагаемой концепции и таким образом: нелинейное взаимодействие двух звеньев коэволюционных связей СЕСН определяет спектр встречающихся в данном этногенетическом и эколого-культурном контексте нормальных и патологических фенотипов и, следовательно, направление социально востребованных технологических разработок, направленных на их нормализацию. При этом понятие «норма» также является функцией не только генетико-соматической основы человеческого бытия, но и дифференцированного социокультурного бытия, в которое соматика человеческой телесности «вписывается».

Эти соображения проясняют объективное значение пятого критерия эволюционного риска (система ценностей), который, как легко понять, фиксирует не подлежащий пересмотру без разрушения биосоциальной самоидентичности результат предшествующих стадий социокультурогенеза. Иными словами, множество оптимальных сценариев последующей эволюции сохраняет экзистенциальный смысл пресловутой, банальной, но необходимой с точки зрения бытия *Homo sapiens* системы общечеловеческих ценностей. Ее существование ставит пределы описанным только что конфликтам между надындивидуальными групповыми адаптациями и канализирует течение групповой селекции на генетическом и социокультурном уровнях.

**Биоэтика как социокультурная адаптация:
управление эволюционным риском
технологического комплекса *High Hume***

Адаптивная реакция СЕСН направлена на восстановление оптимального технокультурного (техногуманитарного — по другой терминологии) баланса. Таковой, сложившийся в техногенной цивилизации и основанный на жесткой автономии собственно научного исследования (подсистемы в составе технологической составляющей СЕСН), воспринимается как чрезмерно опасный в рамках социокультурной составляющей СЕСН. В рамках такой концепции и сама эволюция научной рациональности от классической к неклассической и впоследствии — постнеклассической (человекоразмерной, постакадемической) форме есть результат действия

гомеостатического механизма, обеспечивающего коэволюционную целостность СЕСН. Иными словами, генезис и биоэтики, и самой организации постакадемической науки представляет собой социокультурную адаптацию к новому эволюционному ландшафту, в котором проходит процесс социокультурноантропогенеза, благодаря которой темпы технологических инноваций могут вернуться к значениям, доступным контролю со стороны социокультурной составляющей СЕСН.

Преыдущая социокультурная трансмутация западной ментальности сделала принцип социальной автономии научного познания несущим стержнем техногенной цивилизации. Биоэтика есть одна из стержневых конструкций нового менталитета, утверждающегося в сознании, вследствие перехода этой цивилизации в фазу общества глобально-эволюционного (экзистенциального) риска. Такой вывод может показаться парадоксальным с точки зрения классической эпистемологии, где основными оценочными критериями применительно к научному концепту выступают его эмпирическая верифицируемость и свобода от оценочно-императивных суждений. Но в рамках нового варианта эволюционной эпистемологии, где их место занимает адаптивность (эффективность с точки зрения выживаемости самоорганизующейся системы), он представляется вполне корректным. (Выше мы дали этому процессу наименование *адаптивной инверсии 3*, особо подчеркнув его рекурсивную природу.)

В бинарной связке коэволюционирующих элементов культуры биоэтика — трансгуманизм биоэтика быстро конституировалась как типичный пример новой — постакадемической организации научного исследования и его продукта — научной теории.

Особенности новой организации научной теории можно передать одной чрезвычайно емкой категорией — трансдисциплинарность. В биоэтике (как и в других научных концепциях, относящихся к так называемому интерпретационному научному знанию) объяснительная модель имеет не одну, а две системы лишь частично совместимых друг с другом исходных постулатов и принципов — естественно-научную и социогуманитарную. Связь между ними осуществляется через прикладные — проективные выходы теоретических концепций. Соответственно этому «дисциплинарная матрица» биоэтики имеет два центральных ядра и перекрывающийся пояс проективно-прикладных разработок, которые теоретически возможно эмпирически верифицировать (фальсифицировать).

Отсюда проистекает и социологизация науки в современном обществе риска:

1) идеологизация (управление приоритетными исследовательскими задачами) — непосредственное и зачастую решающее участие политических и бизнес-структур в инициации исследовательских проектов;

2) коммерциализация исследований, т.е. приобретение научными концептами атрибутов рыночного товара;

3) политизация (отчетность) науки — заметный контроль со стороны экстранаучных социальных структур и институтов всех аспектов течения и, тем более, результатов всех стадий научного исследования (темы, концепции, методологии) — уже непосредственно и открыто (*de jure*), а не опосредованно и неявно (*de facto*);

4) расслоение единого процесса научного познания на два автономных по своим социальным функциям потока — рискованную (опасную) науку (преобразование мира соответственно идеальному образу желательного будущего) и предупреждающую науку (выявление и расчет рисков, порождаемых научно-техническим развитием, т.е. рискованной наукой).

Значение последнего фактора тем более велико, что он выступает в качестве агента, катализирующего и направляющего течение трех предыдущих, которые сами по себе выглядят крайне чужеродными для классической концепции науки XVIII–XIX вв.

Концептуальная модель функционирования постакадемической науки как бинарной связки опасного и предупреждающего знания разработана нами ранее. Фактором, инициирующим трансформацию социокультурного компонента адаптивной стратегии в направлении зарождения и становления связки РИСКОВАНАЯ НАУКА — ПРЕДУПРЕЖДАЮЩАЯ НАУКА, стало достижение эволюционного риска научно-технологического развития экзистенциального уровня, в особенности возникновение *High Hume* — технологического комплекса (другие название — технологии управляемой эволюции, NBIC-, OMICS-комплекс и т.п.). Его отличительной чертой является разработка эффективных схем управления или манипулирования, а также способных создать возможность несанкционированного случайного изменения генетического, социокультурного и когнитивного кодов *Homo sapiens*. В отношении связки биоэтика — трансгуманизм роль такого фактора сыграл индивидуальный экзистенциальный риск от использования того же технологического комплекса.

Существенное значение в установлении паритета между двумя векторами развития постакадемической науки и формирования временного эволюционного тренда развития техногенной цивилизации в дальнейшем имеет так называемый *эффект Кноба*, известный также как *эффект побочных последствий* [Knobe, 2003; Beebe, Buckwalter, 2010]. В результате исходная социальная оценка любой технологической инновации склонна завышать уровень риска от ее реализации, особенно, если она (инновация) имеет отношение к субстанциональности или самоидентичности человеческого бытия. Очевидно, этот феномен служит механизмом развития футорошока [Toffler, 1970] и футорофобии [Бестужев-Лада,

2002]; а с другой стороны, он же входит в систему факторов, обеспечивающих относительную стабильность СЕСН.

В такой системе говорить о стандартной, принятой в классической науке процедуре верификации/фальсификации достоверности научного концепта не приходится. Ее место занимает более-менее выраженная социальная верификация. Уровень социополитического прессинга в этом случае определяется по динамике и статике расхождения между репрезентациями соответствующих тем («риск» *versus* «выгода») в научных публикациях и в массмедиа, посвященных конкретным концептуальным или исследовательским областям. Аналогично соотносительные криск-кросс-влияния рискованной и предупреждающей науки могут быть определены как присутствие тем «риск» и «безопасность» в соответствующих пулах публикаций в данной области.

В соответствии с рабочей гипотезой показателем взаимовлияния опасной и предупреждающей науки может служить предлагаемый нами коэффициент семантической ассоциации [Cheshko et al. 2015]. Воздействие концептуального поля данной парадигмы (исследовательской программы) на другую в такой модели определяется частотой заимствования последней ключевых элементов изначально чужеродного концептуально-понятийного аппарата. Соответственно, основной методикой, используемой для поиска, сбора данных и их интерпретации, является контент-анализ, в том числе с использованием интернет-источников.

Первое доступное эмпирической проверке предсказание гипотезы дифференциации опасной и предупреждающей науки относительно динамики изменений социально-эволюционного ландшафта научно-технологических разработок и инноваций гласит, что спонтанное, т.е. неконтролируемое социумом изначально, развитие исследований риска научных исследований и технологических инноваций (предупреждающая наука) должно несколько запаздывать относительно теоретических разработок и прикладных исследований (рискованной науки) в той же сфере. При наличии такого контроля обе сферы развиваются параллельно, а при доминировании охранительных тенденций экспертиза риска идет в комплексе с теоретическими исследованиями и опережает прикладные. Исследование пула публикаций журнала «*Nature*» с использованием поисковой системы сайта www.nature.com позволило установить, что развитие биотехнологии шло практически параллельно с диагностикой факторов риска, обусловленного ею же, с 1975 г. Эти данные четко согласуются с историей вопроса, где рубежом были именно 1974–1975 гг. — объявление временного моратория на генно-инженерные исследования и проведение Асиломарской научной конференции, этому же вопросу посвященной. В то же время достаточно долгое время развитие биотехнологии протекало более динамично, и только с середины 1990-х гг. концепты

«биориск» и «биобезопасность» вышли в лидеры среди приоритетных тем научных публикаций.

Изменение частоты комбинации концептов «биобезопасность» и «биотехнология» имеет отчетливую двухвершинную форму: первый период роста достиг максимума в начале 1990-х гг., второй — после некоторого спада в период наиболее интенсивных работ в рамках проекта «Геном человека» — с начала XXI в. и по настоящее время.

Стабильный рост числа публикаций, затрагивающих проблему биобезопасности, развертывается, таким образом, несколько позднее (с начала 2000-х гг.) и развивается крайне интенсивно. Эта разница, очевидно, отражает эмоционально различную смысловую нагрузку терминов «риск» и «безопасность» и демонстрирует определенный паритет рискогенной и предупреждающей науки, переводимый в плоскость обеспечения практических мер эффективного использования биотехнологических инноваций. Отметим также, что стартовые позиции концептов «биориск» и «биобезопасность» также сильно различаются: в последнем случае рост числа публикаций начался практически с нуля, тогда как «риск» (вероятно, в силу многозначности термина «биологический риск») встречается в заметном количестве публикаций уже в начале 1960-х гг.

Коэффициент ассоциации (F_{ij}) концепта «биологический риск» с концептами «биотехнология», «генетическая инженерия» и «ГМО» отражает репрезентацию соответствующих областей исследования в общей популяции предупреждающей науки и, соответственно, ценностные приоритеты научного сообщества в отношении соответствующей тематики. По нашим данным [Чешко, Передяденко, 2015; Чешко и др., 2016; Cheshko et al., 2015], этот показатель составляет для 2000–2013 гг. 0,449–0,480 (биотехнология), 0,10 (генная инженерия) и 0,176 (ГМО). Значения коэффициента ассоциации F_{ij} для биологической безопасности в целом весьма близки.

Безусловно, есть основания связывать совокупную активность публикаций, содержащих результаты проведенных исследований в данной области, с комплексом субъективных и объективных факторов, характеризующих исследовательскую активность. К их числу относятся в первую очередь система ценностных и гносеологических приоритетов, структура тематического социального заказа и коммерческой востребованности результатов соответствующих исследований, структура дисциплинарной матрицы и пр. Все это требует дополнительного анализа. Тем не менее сам факт, что тема «рискованной науки» применительно к биотехнологическому сектору NBIC-технологического комплекса занимает чуть менее 50% пула научных публикаций, достаточно красноречив. Очевидно, внимание исследователей выраженным образом переориентировалось на изучение побочных результатов научно-технологического развития, прогнозирование и анализ факторов риска и борьбу с ними. Иными сло-

вами, дальнейшую траекторию научного прогресса значительно в большей степени детерминирует рискованная наука, чем это было ранее — в период господства классического типа научной рациональности и соответствующего ему социального статуса науки.

Следует отметить, что в массовом сознании и в массмедиа внимание, уделяемое проблеме ГМО, значительно выше, что делает эту область более уязвимой для биополитического и идеологического давления.

Последний вывод подтверждается содержательным анализом динамики социальной истории биотехнологии, в частности генно-модифицированных организмов последнего десятилетия. Примером могут служить реакция общественного мнения и, как следствие, политической элиты на достаточно противоречивые в методическом плане исследования И.В. Ермаковой (Россия, 2009) и Сералини (Франция, 2012) по исследованию биологического риска отдаленных последствий генно-модифицированных продуктов питания, авторы которых полагали, что получили достоверные доказательства высокого риска таких продуктов [GM soybeans, 2007; Seralini et al., E., 2012 // <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2012.08.005>]. Эти публикации вызвали достаточно противоречивую, граничащую с однозначным неприятием реакцию со стороны научного сообщества (Глазко, Глазко, 2013), а тем более бизнес-структур, чьи интересы были связаны. Ответ общественных движений и достаточно большого числа политических деятелей был, безусловно, негативистским по отношению перспектив дальнейшего практического использования ГМО и других генно-инженерных инноваций. В принципе подобное распределение мнений и оценок можно было предсказать на основе уже цитировавшегося эффекта Кноба.

Впоследствии появились сообщения об инициации Национальной генетической ассоциацией России так называемого крысиного реалити-шоу («Rat reality show»), в ходе которого различные группы лабораторных крыс будут получать содержащую или не содержащую ГМО диету [Johnaton, 2013]. Их состояние должно контролироваться с помощью различных методик, а видеопротоколы — транслироваться по телевидению. Таким образом (квази-) научный эксперимент переводится в плоскость шоу-бизнеса и манипуляционных технологий, а заключение о достоверности полученных данных и обоснованности сделанных выводов будет делаться не научным сообществом, а социальными и политическими движениями на основе соображений этического выбора и политической корректности.

Рискнем все же предположить, что в отношении самого научного сообщества этот вывод был бы еще не совсем корректен. Приблизительно в $1/3$ публикаций «риск», «безопасность» фигурируют совместно. Первый из них ориентирует восприятие на опасность научно-технологических

разработок, а второй — на разработку инноваций ее преодоления. Очевидно, по крайней мере на уровне интерпретации эмпирических данных и теоретических концептов, в профессиональной ментальности научного сообщества потенциал рискованной и предупреждающей компонент научного исследования относительно уравновешен.

Реципрокный коэффициент ассоциации (F_{ji}), отражающий репрезентацию темы риска, а следовательно, уровень пролиферации предупреждающей науки в соответствующих исследовательских областях, дает существенно отличные результаты. В этом случае лидерами являются геном (0,306–0,312), биотехнология (0,20–0,22) и генная инженерия (0,10–0,11). На удивление мало публикаций, где ассоциируются лексические единицы «риск», «безопасность», с одной стороны, и «ГМО» — с другой.

Стабильная адаптивная стратегия *Homo sapiens* представляет собой результат интеграции в трехмодульный фрактал различных типов адаптаций: биологического, социокультурного и технологического, основанных на трех автономных процессах генерации, репликации и осуществления адаптивной информации — генетическом, социокультурном и символическом. При этом третья составляющая СЕСН направлена в равной мере на адаптивное преобразование среды обитания и самого носителя САС (гоминид). Эволюционный ландшафт СЕСН представляет собой многомерный топос нескольких эволюционных векторов: 1) экстраверсивная проективно-деятельностная поведенческая интенция (адаптивная инверсия 1); 2) мимезис, обозначивший возможность генерации и распространения в пределах социальной группы и вне ее адаптивных поведенческих и орудийных инноваций (социокультурная наследственность); 3) социальный (макиавеллистский) интеллект, выражающийся в способности прогнозировать и манипулировать коммуникативной структурой социальной группы и поведением ее членов; 4) расширение системы межиндивидуальной коммуникации за пределы собственной социальной группы и собственного биологического вида на весь остальной мир; 5) символическая система коммуникации — речь посредством мимического и звукового кода, а затем письменность (символическая наследственность); 6) спиритуалистская трансформация эмоционально-образной компоненты мышления, ведущая к интериоризации функций социального контроля и развитию религиозности; 7) доминирование рационалистической компоненты мышления, катализировавшее развитие науки и технологии как энхансера адаптивной инверсии 1; 8) рекурсивное распространение проективно-деятельностной интенции на самого человека — его геном, психику и культуру (адаптивная инверсия 2); 9) интроверсивная переориентация вектора когнитивной активности с научного объяснения окружающего мира на само научное познание, что привело к расслоению последнего на риско-

ванную (классическую) и предупреждающую науку, и инициацию интернальных социокультурных механизмов контроля реализации проективно-деятельностной поведенческой интенции (адаптивная инверсия 3). Проявлением развития упомянутых контрольных механизмов является инициализация и интеграция в жизнь социума вообще и его политической сферы в частности биоэтики и биополитики как социальных институтов, такой контроль осуществляющих.

В такой системе плейотропизм отдельных элементарных адаптаций, автономия и ассоциация членов адаптивной триады СЕСН влекут за собой генезис потенциального долговременного тренда эволюционного риска. Его источниками служат дисбаланс: 1) внутригеномной коэволюции (внутригеномных конфликтов), возникающей вследствие стохастического механизма генерации адаптивной/дезадаптивной генетической информации между отдельными ее плейотропными фрагментами в соответствии с модусом Дарвина; 2) генно-культурной коэволюции, в ходе которой элементарные фрагменты генетической информации используются как субстратная основа для адаптации социокультурной независимо от их собственно биологического адаптивного значения; 3) внутрикультурной коэволюции между элементами культуры, чье возникновение обусловлено разными аспектами биосоциальной жизни или возникло в иной эколого-культурной среде, но сохраняется вследствие смысловой ассоциации с несущими элементами адаптивной в целом системы культурных ценностей и ментальных стереотипов; 4) техногуманитарного баланса, основанного на спонтанно возникающих ассоциациях между новыми технологическими разработками и социокультурными средствами их обеспечения; 5) межтехнологических конфликтов (технологических ловушек), обусловленными взаимоисключающими или с трудом совместимыми требованиями отдельных технологических инноваций к социокультурной среде или дисбалансом требований различных социальных общностей к таким разработкам.

Каждый из компонентов эволюционного риска, взятый по отдельности, по крайней мере, феноменологически представляется обратимым, однако в своей совокупности чреват необратимым разрушением биосоциальной и культурной самоидентичности *Homo sapiens*. В эпоху, когда собственно эволюция становится предметом рационалистического управления и/или манипулирования, значение 4-й и 5-й составляющих эволюционного риска достигает экзистенциального уровня значимости. Оказывается необходимым просчитывать при составлении прогноза и определении величины инновационного риска те особенности социальной реакции на научно-технологическое развитие, которые проистекают из субстанциональной основы человеческого сознания и культуры и являются результатом предшествующей биосоциальной эволюции.

Информационный и семантический компоненты организации стабильной эволюционной стратегии *Homo sapiens*

Механизм влияния каждого модуля на эволюцию двух оставшихся модулей *SESH apriori* может быть двойственным:

1) прямое селективное давление, т.е. изменение адаптивного значения отдельных признаков/инноваций, контролируемых или поддерживаемых генетически, технологически или путем обучения;

2) семантическая коэволюция, т.е. изменение качественной или количественной выраженности отдельного признака в ходе его реализации в результате контакта с факторами, являющимися адаптивными элементами иных модулей *SESH*.

Применительно к генно-культурной коэволюции примеры селективного давления, заключающиеся в изменении генных частот в популяции с изменением социокультурной среды, приводились в настоящем исследовании неоднократно. Семантическая коэволюция в этом же случае подразумевает эпигенетическую модификацию процесса реализации генетической информации под влиянием социокультурных факторов (этических императивов, ритуалов, верований, поведенческих актов и т.п.). Все подобные факторы потенциально способны вызывать психосоматический ответ и с течением времени становиться самоподдерживающимися циклами. В каком-то смысле механизмы взаимодействия генов и культуры подобного рода аналогичны эффекту плацебо. Последний, как известно, заключается в психосоматическом терапевтическом действии определенного рода актов коммуникации, ритуалов, физических действий, не имеющих непосредственного фармацевтического значения. Согласно последним, пока еще гипотетическим построениям эффект плацебо может быть обусловлен изменением активности нервных центров головного мозга и активацией синтеза различных нейротрансмиттеров. Под действием последних активируется или тормозится синтез специфических информационных молекул — РНК, белков [Hall, 2015]. В результате устанавливается функциональная связь между поведенческим актом и физиологической реакцией, в основе которой лежит первоначальная психологическая predisposition. Вводимое авторами цитируемой работы понятие «плацебом» (*placebome*), по нашему мнению, может быть частным описанием более общего явления — существования общего эпигенетического передаточного механизма, посредством которого устанавливается адаптивное взаимодействие между социокультурным и биологическим модулями *SESH*. Важно отметить, что таким путем не только формируются коэволюционные связи между генами и элементами культуры, но и каждому из них «присваивается» определенное адаптивное значение.

Предлагаемое нами разделение категории «адаптивность» на два параметра — объективно-спонтанный (эволюционная эффективность) и субъективно-телеологический (эволюционная корректность) позволяет, на наш взгляд, перевести в плоскость эмпирической верифицируемой концепцию семантической коэволюции. Согласно представлениям ее автора [Cousins, 2012, 2014], целостность коэволюционной бинарной оппозиции гены — культура поддерживается информационными корреляциями, так же как семантическими соответствиями. Если в первом (информационном) аспекте коэволюционная связь между двумя массивами адаптивной информации (модулями — по нашей терминологии) обеспечивается соответствиями между информационными массивами (адаптациями), поддерживаемыми посредством биологического и социокультурного наследования, то во втором (семантическом) аспекте речь идет уже о правилах такого соответствия.

В рамках трехмодульной модели SESH коэволюционная семантика интерпретируется как анализ изменяющегося в ходе эволюции человека информационного кода, обеспечивающего интермодульные взаимодействия внутри целостной системы SESH. Речь идет, следовательно, об эволюции двойных обоюдных коннотаций между элементами биологического и социокультурного, социокультурного и технорационалистического модулей.

В результате таких взаимодействий, меняющихся в ходе эволюции, устанавливаются специфический рисунок субстанциональных отношений: элементы биологического модуля служат субстратной основой, обеспечивающей субстратный фундамент для наличного пула социокультурных адаптаций; элементы социокультурного модуля служат селективным фильтром, ускоряющим или тормозящим развитие технологических инноваций.

Этот передаточный механизм, посредством которого система адаптаций одного модуля преформирует селективный топос другого, С. Кьюзенс (поскольку в центре его внимания находится культура как совокупность психологических интенций и predispositions) именуется интендантом [Cousins, 2012, 2014]. С нашей точки зрения, более адекватным и лексически нейтральным в разном языковом контексте обозначением был бы термин «оператор». Но в любом случае содержание этого термина раскрывается через возникающий спонтанно или рационально идеальный образ совокупности целевых установок, предопределяющий самовоспроизводящуюся в дальнейшем структуру отношений адаптивности/дезадаптивности отдельных элементов каждого модуля. Эта структура в дальнейшем обозначает направление эволюции SESH в целом и ее отдельных элементов в частности.

Итак, уточненная модель трехмодульной модели организации SESH включает в себя: 1) три информационных модуля (био-, культуро- и техно-

рационалистического), каждый из которых — с собственной системой генерации, кодирования и наследования адаптивной информации, и 2) три семантических оператора (передаточных механизма), связывающих модули друг с другом, причем семантические коннотации состава членов коэволюционной связки меняются во времени.

В социогуманитарном и естественно-научном концептуально-категориальном каркасе эволюционной теории устанавливается метасемантическое соответствие категорий парадигмальной значимости, в котором эволюционной эффективности соответствует система объективных интересов, а эволюционной корректности — система ценностей. Таким образом, две пары категорий обеспечивают пересечение социально-императивной и дескриптивной частей трансдисциплинарной теории антропогенеза (в силу перекрывания своего содержания). Конфигурация семантического кода определяется системой ценностных приоритетов и системой рационально обоснованных интересов (технорационалистический модуль). *A priori* можно предположить, что семантический код межмодульного взаимодействия переживает периоды относительной стабильности, сменяющиеся периодами скачкообразной перестройки, инициируемой реконструкцией системы ценностей (социокультурный модуль) или объективного знания и его практического приложения (технорационалистический модуль). (Смена семантического кода, определяющего соответствия между статусами отдельных модулей, по определению инициируется тем модулем, скорость эволюции которого является большей.) Такая перестройка семантических коннотаций чревата резкой интенсификацией адаптивных конфликтов, увеличением эволюционного груза и эволюционного риска. Величина риска достигает экзистенциального уровня, когда векторы эволюционной эффективности и эволюционной корректности оказываются несовместимыми (антипараллельными).

Семантический анализ, следовательно, применим в равной степени ко всем коэволюционным циклам (операторам) внутри SESH — и к генно-культурной коэволюции, и к техногуманитарному балансу, и к только формирующемуся циклу технобиологических трансформаций. Исследование семантических расхождений между элементами бинарных технокультурных и генно-культурных связей служит основой для определения текущего вектора эволюции и величины текущего эволюционного риска *Homo sapiens*.

Рациотехногенез как форма и механизм адаптации подразумевает наличие когнитивного (семантического) кода. Его особенностью есть гегемония произвольной системы коррелятивных соответствий между мыслеформами (интерпретантами), служащими промоторами адаптивно значимых поведенческих актов, и соответствующими символами. Наличие интерпретантов объединяет механизмы функционирования социо-

культурной и рационалистической составляющих SESH. Разница между ними как раз и состоит в произвольной системе кодирования адаптивных поведенческих актов, способных изменить физическую, социальную или ментальную реальность, увеличив или уменьшив индивидуальную и/или групповую адаптивность их носителей. Эта мысль не является чем-то принципиально новым. Еще в 1987 г., например, в одной из статей утверждалось, что основой эволюционной уникальности человека является способность к концептуально абстрагированным от ситуации моделированию действиям, необходимым для достижения целей, которые коррелируют с приспособленностью. Эта способность, говоря языком теории познания, создавать идеальные рационалистические модели объективной реальности именуется «когнитивной» нишей [Tooby, DeVore, 1987]. Приведенная аргументация специфики (чтобы не сказать — уникальности) SESH может быть сформулирована как постулат о *рационализации процесса адаптогенеза Homo sapiens*, как и других гоминид. Метафизическая установка о телеологичности антропогенеза с появлением технологий управляемой эволюции (NBIC-технологического комплекса, конвергентных технологий, технологий High Hume в широком метафорическом значении — суть от этого не меняется) стала вполне совместимой с концепцией объективного характера эволюционного процесса. Более того, констатация одновременного существования нескольких сопряженно эволюционирующих систем генерации и наследования адаптивных признаков при условии неравенства скоростей адаптогенеза в каждой из них делает телеологичность вполне «естественной».

Коэволюционная семантика эволюционного риска

В результате конституируется второй аспект реализации функций SESH — семантический. Коэволюционная семантика представляет собой изменяющийся во времени код соответствия между членами попарных коэволюционных связей. Роль оператора, задающего правила соответствия биологического и социокультурного, социокультурного и рационально-технологического, рационально-технологического и биологического информационных массивов информации, выполняет либо система объективированных *интересов* (праксеологически ориентированных знаний), либо система субъективных *ценностей* (психологических предрасположений). Репликация интересов осуществляется в рамках рационально-технологического модуля на основе механизмов символического наследования, ценностных приоритетов — в рамках социокультурного модуля и, соответственно, социокультурного наследования (культурной традиции). Если основным «назначением» интересов является материальное выживание носителей SESH (эволюционная эффективность), то содержание аналогичного параметра (эволюционная корректность)

ценностей определяется их способностью обеспечить сохранение самоидентичности.

Такая организация способна к спонтанному возрастанию системной сложности, причем на разных этапах социоантропогенеза роль лидера берут на себя отдельные ее компоненты. Примерно 350–400 лет назад в результате трансмутации социокультурного компонента САС возникла техногенная цивилизация, особенностью которой является перманентное расширение «социоэкологической ниши» (сферы контроля) *Homo sapiens* и параллельная эскалация рисков антропотехногенного воздействия.

Отдаленные последствия генетических конфликтов внутри биологического модуля SESH и между биологическим модулем, с одной стороны, и технологическим и социокультурным модулями — с другой, растянулись на тысячелетия. Например, смена привычного способа питания (диеты), свойственного человеку до неолитической революции, вызвала модификации в метаболизме липидов, белков, углеводов, которые проявляются в поздне- и пострепродуктивном возрасте. Эти последствия, таким образом, закрыты для действия биологических форм естественного отбора. Именно с ними, как считается ныне, связан рост частоты сердечно-сосудистых (инсульты, инфаркты, атеросклероз), онкологических патологий, диабета второго типа и т.д. Дополнительно к этому возникает еще и дисбаланс развития половой сферы, проявляющийся в расхождении сроков начала менструального цикла и остальных компонентов полового созревания женщин. Все это является очевидными трендами величины эволюционных рисков, свойственных западному типу техногенной цивилизации. (Подробнее эти проблемы изложены в недавней книге шведского диетолога, адепта эволюционной медицины Стефана Линдберга [Lindberg, 2010]; сопряженная эволюция человеческого генома и культуры, ведущая к генезису «болезней цивилизации», рассматривается также в книге Даниэля Либермана [Lieberman, 2013]. Оба исследователя рассматривают детерминированный социокультурной наследственностью переход к нефруктовой диете как системный фактор, переформатировавший структуру и значение отношений между биологическими и поведенческими, а затем и внегенетическими адаптациями. В дальнейшем мы попытаемся с использованием аргументации этих исследователей обосновать концепцию семантической коэволюции как объяснительной модели передаточного механизма между модулями SESH.)

Рейтинг снижения адаптивности по данному показателю по достижении определенной пороговой зоны значений или в результате аналогичного порога изменений эколого-культурной среды способен к скачкообразному росту, требующему немедленного адаптивного ответа (решения проблем выживания). Такой скачок, по сути, является *актуализацией эволюционного риска*. Одним из симптомов такой актуализации стано-

вится системный эффект распространения за пределы исходного модуля на остальные составляющие SESH. Так, упомянутые выше болезни западной цивилизации на протяжении ушедшего XX в. трансформировались из чисто медицинской (т.е. относящейся непосредственно к биологическому модулю) проблемы на сферы, направляющие эволюцию социокультурного модуля (включая сюда область экономики).

Максимальной величины эволюционный риск достигает в случае антипараллельности динамики изменений эволюционной эффективности и эволюционной корректности, когда характеристическая величина риска крайне быстро пересекает границы «физического» смысла ($R_{int} > 1$). Достижение этой точки означает необратимую семантическую деструкцию (разрушение системы ценностных приоритетов, центральным ядром которой служат понятия «гуманность» и «природа человека»).

Представляется вполне логичным сделать два уточнения. Периоды скачкообразного возрастания величины эволюционного риска, очевидно, когерентны периодам «научно-технологической революции» и периодам коренных реконструкций господствующих в обществе систем ценностей. Именно тогда структура коэволюционных связей между элементарными адаптациями разных модулей SESH и собственно адаптивным значением каждого элемента оказывается дестабилизированной и подверженной непредсказуемым стохастическим флуктуациям.

Система доминирующих в социуме ценностных приоритетов имеет включающую несколько уровней структуру — индивидуальные (безусловные) интересы, групповые (конвенционалистские) нормативы, абстрактно-теоретические (общечеловеческие) ценности [Kohlberg, 1969; Neural Correlates, 2015]. Здесь, прежде всего в области групповых нормативов и predispositions относительно конкретных атрибутов гуманизации/дегуманизации, возможны относительно быстрые реконструкции, радикально меняющие семантику отношений культурного модуля с биологическим и технорациональным [Чешко, Передяденко, 2015]. В результате адаптивный ландшафт, в котором проходит эволюция, например, биологического модуля (адаптивная значимость отдельных его элементов) столь же быстро переформатируется. Примером может служить радикальный пересмотр ценностных приоритетов по отношению к традиционной и нетрадиционной сексуальной ориентации в западном менталитете 1970–2015 гг. Общечеловеческие ценности практически не вовлечены в этот еще не законченный процесс трансформации социокультурных и психологических predispositions.

Таким образом, можно предположить, что из трех уровней ценностных приоритетов (и соответствующих им социокультурных predispositions) — индивидуальные интересы, групповые нормативы и общечеловеческие ценности — наиболее подвержены эволюционным трансформациям груп-

повые нормативы. Более устойчивыми являются индивидуальные интересы (как наиболее тесно связанные с жизненными потребностями, детерминированными биологическим модулем) и общечеловеческие ценностные приоритеты (как наиболее абстрактные, отдаленные от объективной реальности и приближенные к рационалистическому модулю концепты). Однако эффект от пертурбаций групповых нормативов — атрибутов гуманизации/дегуманизации — диффундирует посредством эволюционно-семантического передаточного механизма на биологический модуль, разрушая, в свою очередь, правила семантического соответствия этого модуля с двумя оставшимися. В силу этого вторичного влияния элементы биологического модуля SESH распространяются сначала на систему объективных «интересов», а затем и на остальные уровни социокультурного модуля. Происходит фиксация определенного набора групповых нормативов и вслед за этим — пересмотр общечеловеческих ценностей, поскольку последние являются проективной рефлексией и групповых нормативов, и индивидуальных интересов.

Итак, определенная часть биологических адаптаций в новом социокультурном контексте становится элементами генетического груза (индаптивными или селективно нейтральными), и наоборот, часть селективно вредных или нейтральных компонентов генома приобретает адаптивное значение). Что касается технологических инноваций, то в своей совокупности они оказываются однозначно направленными на фрагментацию биологического адаптивного комплекса.

Если значение научно-технологических революций (смен парадигм) исследовано уже относительно давно (достаточно вспомнить классическую монографию Томаса Куна 1962 г.), то эволюционное значение социокультурных трансформаций начинает проясняться только сейчас. Между тем социокультурное наследование также способно к радикальным перестройкам своей структуры и состава. Достаточно упомянуть о радикальном изменении predispositions в отношении проявлений сексуальности, произошедшем в западной ментальности за последние полвека. Дополнительным осложняющим обстоятельством выступает относительная независимость каждого модуля, в результате которой, например, «макромутации» системы культурно-психологических predispositions направлены прежде всего на сохранение структурного распределения субкультур внутри данного цивилизационного типа и только потом — на селекцию соответствующих элементов биологического модуля SESH.

Тем не менее в условиях относительной сбалансированности геннокультурной («генно-культурной коэволюции») и технокультурной («техногуманитарного баланса») коэволюционной семантики и отсутствия прямого преформатирующего воздействия технорационалистического модуля SESH на два оставшихся (биологический и социокультурный) кон-

фигурация всей системы также не допускала неконтролируемого скачка риска до экзистенциального уровня.

В предыдущих работах мы уже сформулировали условия такой семантической стабильности в терминах социогуманитарного знания: стержнем менталитета Запада выступает стремление человека к некоему предельному идеалу («*Per aspera ad astra*» — «Через тернии к звездам»). Оно дополняется второй стержневой конструкцией, противостоящей и одновременно ставящей пределы этому идеалу («*Ad imaginem suam ad imaginem Dei*» — «По образу и подобию Божьему») и акцент на богоизбранность, абсолютный приоритет уникальности человеческой личности («*Unus ex nobis*» — «Один из нас», как говорит Бог об Адаме). Тем самым актуализация стремления сблизить мир Сущего и мир Должного получает характер движения к Абсолюту, конечной цели («точке Омега», как назвал ее Тейяр де Шарден) [Чешко, 2012]:

В объективизированной, освобожденной от метафоричности форме этот же тезис сводится к констатации, что одной из базисных predispositions ментальности техногенной цивилизации в ее западной форме является тренд на освобождение социальной роли и социального статуса индивидуума от преформации условиями его биологического субстрата (генома) как критерия социального (и эволюционного) прогресса. Этот тренд, в свою очередь, уравнивается иррациональным страхом возможного вмешательства в человеческую психику извне, нарушающего свободную волю индивида и заставляющего его поступать вопреки его «человеческой природе». Этот тренд прослеживается, по крайней мере, с библейских времен и легенд о оборотнях и вампирах через готические романы XVIII в. к современным триллерам и научной фантастике самых последних лет.

Система социокультурных противовесов, обеспечивающих самоидентичность *Homo sapiens*, оказалась очень устойчивой, однако лишь до момента рождения технологий управляемой эволюции, когда онтологическая антиномия Эволюция *versus* Разумный Замысел оказалась окончательно преодоленной. В результате, ограничения, вытекающие из ограниченности технологических средств преобразования реальности, оказались преодоленными, по крайней мере *in potentio*. Единственным встроенным внутри SESH стабилизатором течения глобального эволюционного процесса остается семантический код гуманизации/дегуманизации, который сам по себе допускает значительные стохастические колебания, открыт для технологических интервенций и нуждается поэтому в непрерывном мониторинге.

С появлением *High Hume*-технологий уровень риска достиг экзистенциального уровня значимости. При этом экзистенциальный уровень техногенного риска означает уже, по определению, эволюционный риск, по-

сколькx обуславливает генезис возможности исчезновения человечества как биологического вида (но не обязательно — разумной жизни и ноосферы вообще).

В эпоху, когда собственно эволюция становится предметом рационалистического управления и/или манипулирования, оказывается необходимым просчитывать при составлении прогноза и определении величины инновационного риска те особенности социальной реакции на научно-технологическое развитие, которые проистекают из субстанциональной основы человеческого сознания и культуры и являются результатом предшествующей биосоциальной эволюции.

Изменение технокультурного баланса, являющегося адаптивной реакцией социокультурного компонента SESH на описанные выше процессы, привело к трансформации классической науки в ее постакадемическую форму. В рамках той же глобально-эволюционной трансформации приходится рассматривать и появление биоэтики как одной из разновидностей современной (трансдисциплинарной) научной концепции, сочетающей в себе черты гуманитарного знания, классической научной теории и социальной утопии. Не так давно Е. Кунин очень наблюдательно диагностировал любопытную особенность объяснительных моделей современной эволюционной биологии: все они представляют собой нарративы с большей или меньшей, но всегда наличной долей телеологичности. Сознательно или нет в них присутствуют в явном или неявном виде логические конструкции «возникают для...», язык этих нарративов (как ни противоречит это методологии классической — не современной, трансдисциплинарной — науки) лучше всего подходит для описания эволюционных процессов и феноменов и создания доступных проверке опытом гипотез [Koonin, 2011; Русск. пер.: Кунин, 2014].

Тем более это справедливо для современной фазы эволюции SESH, которая характеризуется всеобщим процессом рационализации и технологизации эволюционного процесса. Именно примером такой объяснительной модели служит предлагаемая здесь концепция эволюционного риска, в которой сочетаются в соответствии с принципом дополнительности объективно-научные (эволюционная эффективность) и субъективно-гуманитарные (эволюционная корректность) критерии величины этого параметра.

Это итоговое соображение, в свою очередь, определяет цивилизационную и эволюционную функции биоэтики. *A priori* очевидно, что каждый из трех модулей эволюционной стратегии должен иметь собственную систему самосохранения. В биологическом модуле она наиболее хорошо исследована и обозначается как иммунитет. В технорационалистическом модуле такой системой служит технология верификации и фальсификации достоверности и обоснованности научного знания. В социокультурном

модуле эту функцию выполняет система predisпозиций, регулирующих самоидентификацию человека в ходе глобально-эволюционных трансформаций.

Асимметричность семантических коммуникаций (от обозначаемого объекта к обозначающему символу) определяет неравноценность состава социокультурного модуля. Эта дихотомия возникает вследствие процесса социокультурной самоидентификации и подразумевает соотнесение друг с другом двух бинарных оппозиций — каузальной (причина — следствие) и семантической (объект и его обозначение). В таком случае все, что имеет внутрикультурную детерминацию (гуманность), можно обозначить как защищаемый этическими и правовыми нормами объект социокультурной самоидентификации *Homo sapiens*. Наоборот, все элементы, имеющие в своей основе стимулированное культурой развитие биолого-генетических элементов организации, можно считать всего лишь символами человеческих атрибутов (человеческой природой), открытых для технологических манипуляций и управления. Естественно, наиболее устойчивой и эволюционно-пластичной организацией эволюционной стратегии человека будет в том случае, когда система самоидентификации социокультурного модуля совпадает в своей основе с объективным знанием о сущности антропогенеза, генерируемого технорационалистическим модулем.

Биоэтика в значительной мере является методологической концепцией. Иными словами, она представляет собой метатеорию, которая, как мы надеемся, способна послужить стабилизатором системы атрибутов-идентификаторов самоидентификации человека, равно как системы культурно-ментальных predisпозиций, формирующихся на их основе. Такая система обеспечивает поддержание текущего варианта эволюционной семантики NBIC-технологического комплекса в пределах «общечеловеческих ценностей», обеспечивающих сохранение человечества в процессе перманентного развития технологий, обращенных на субъект эволюционного процесса.

СПИСОК ОСНОВНОЙ ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абелев Г.И.* Этические проблемы современной российской науки // *Росс. хим. журн.* 1999. № 6.
2. *Автомонов В.С.* Человек в зеркале экономической теории (Очерк истории западной экономической мысли). М.: Наука, 1993. 176 с.
3. *Азроянц Э.А.* Будущее: эволюционные и эсхатологические альтернативы // *Полигнозис.* 2002. № 4. С. 3–20.
4. *Айзятков Ф.А., Зейналов Г.Г.* Устойчивое развитие и стратегия общественного прогресса. М.: Прометей, 1999. 107 с.
5. *Акофф Р.* Планирование будущего корпорации: Пер. с англ. М.: Прогресс, 1985.
6. *Алтухов Ю.П.* Монолог о генетике // *Человек.* 2003. № 6. С. 5–16.
7. *Ананьин О.И.* Экономическое знание в зеркале методологии // *Вопр. философии.* 1999. № 10. С. 135–151.
8. *Арнольд В.И.* Теория катастроф. 3-е изд., доп. М.: Наука, 1990. 128 с.
9. *Асланян М.М.* Человек и природа: от священных рощ до биополитики. URL: <http://nauka.relis.ru/08/0304/08304046.htm>
10. *Ашмарин И.И., Юдин Б.Г.* Основы гуманитарной экспертизы // *Человек.* 1997. № 3.
11. *Баксанский О.Е.* Коэволюционные репрезентации в современной науке // *Методология биологии: новые идеи (синергетика, семиотика, коэволюция).* М., 2001. С. 56–57.
12. *Баранов В.С.* Пренатальная диагностика наследственных и врожденных болезней в России. Реальность и перспективы // *Соросовский образовательный журнал.* 1998. № 10.
13. *Баратынский Е.* Стихотворения и поэмы. М.: Современник, 1982. С. 95–96.
14. *Бейсенова Г.А.* Мишель Фуко: Образование — знание — власть // *Социально-гуманитарное знание.* 2004. № 3.
15. *Бек У.* Общество риска. М.: Прогресс-Традиция, 2000.
16. *Бекон Фр.* Сочинения. Т. 2. М.: Мысль, 1977.
17. *Белов В.С.* Ценностное измерение науки. М.: Идея-Пресс, 2001.
18. *Бендлер Р., Гриндер Дж.* Рефрейминг: ориентация личности с помощью речевых стратегий: Пер. с англ. Воронеж: НПО «МОДЭК», 1995. 256 с.
19. *Бердяев Н.А.* Новое средневековье. М.: Феникс, 1991.
20. *Бердяев Н.А.* Царство духа и царство кесаря. М.: Республика, 1995.
21. *Бестужев-Лада И.В.* Социальное прогнозирование: Курс лекций. М.: Педагогическое общество России, 2002.

22. *Бикертон Д.* Язык Адама: как люди создали язык, как язык создал людей: Пер. с англ. М.: Языки славянских культур, 2012. 336 с.
23. *Блауг М.* Экономическая мысль в ретроспективе. М.: Дело-ДТД, 1994.
24. *Бодрийяр Ж.* Америка. СПб.: Владимир Даль, 2000.
25. *Бодрийяр Ж.* Забыть Фуко. СПб., 2000.
26. *Болонкин А.* Если не мы, то наши дети будут последним поколением людей // Лит. газета. 11.10.1995.
27. *Бородай Ю.М.* От природно-биологической к социальной и исторической детерминации поведения человека // Биология в познании человека. М.: Наука, 1989. С. 96.
28. *Бубер М.* Два образа веры. М., 1999.
29. *Букович У., Уильямс Р.* Управление знаниями: руководство к действию. М.: ИНФРА-М, 2002.
30. *Булаева К.Б.* Генетические основы психофизиологии человека. М.: Наука, 1991. С. 16–19.
31. *Бурлак С.А.* Происхождение языка. Факты, исследования, гипотезы. М.: Астрель, 2011. 464 с.
32. *Бутовская М.Л.* Антропология пола. Фрязино: Век-2, 2013. 256 с.
33. *Вавий Т.П., Коханова Л.Л., Костюк Г.Г., Задорожный А.Г., Матвеев С.А.* Биологи: Биографический справочник. Киев: Наукова думка, 1984. 815 с.
34. *Васильев В.В.* Трудная проблема сознания. М.: Прогресс-Традиция, 2009. 272 с.
35. *Вебер М.* Избранные произведения. М.: Прогресс, 1990.
36. *Вейдле В.В.* Умирание искусства. СПб., 1996. С. 115.
37. *Вековщинина С.В.* Методология и опыт этической экспертизы на национальном и международном уровнях // Этические комитеты: настоящее и будущее. Киев: Сфера, 2004.
38. *Вельков В.В.* По ту сторону эволюции // Человек. 2004. № 2. С. 22–30.
39. *Вельков В.В.* Куда идет эволюция человека? // Человек. 2003. № 2. С. 16–29.
40. *Вельков В.В.* Оценка риска при интродукции генетически модифицированных микроорганизмов в окружающую среду // Агрехимия. 2000. № 8. С. 76–86.
41. *Вернадский В.И.* Размышления натуралиста. Кн. 2. Научная мысль как планетное явление. М.: Наука, 1977.
42. *Вилдавски А., Дейк К.* Теории восприятия риска: кто боится, чего и почему? // THESIS. 1994. Вып. 5. С. 272.
43. *Вишнякова М.А., Гончаров Н.П.* Георгий Дмитриевич Карпеченко к 110-летию со дня рождения // Вестник ВОГиС. 2009. Т. 13. С. 7–25.
44. *Влавиапос-Арванитис А., Олескин А.В.* Биополитика. Биокружение. Биосиллабус. Афины: Биополитическая интернациональная организация, 1993.
45. *Волова Т.Г. и др.* Современные проблемы и методы биотехнологии [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие / Н.А. Войнов, Т.Г. Во-

- лова, Н.В. Зобова и др.; под науч. ред. Т.Г. Воловой. Электрон. дан. (12 Мб). — Красноярск: ИПК СФУ, 2009. — 418 с. (http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/1323/u_manual.pdf)
46. Воронцов Н.Н. Развитие эволюционных идей в биологии. М.: КМК 2004, 432 с.
 47. Газнюк Л. Соматичне буття персонального світу особистості. Харків: ХДФК, 2003.
 48. Гальтон Ф. Наследственность таланта, ее законы и последствия: Пер. с англ. СПб., 1875.
 49. Глазко В.И. ДНК-технологии животных. Киев: Нора-принт, 1997. 173 с.
 50. Глазко В.И. Агроэкологический аспект биосферы: проблема генетического разнообразия. Киев: Нора-принт, 1998. 208 с.
 51. Глазко В.И. Генетически модифицированные организмы: от бактерий до человека. Киев: КВІЦ, 2002. 210 с.
 52. Глазко В.И. Николай Иванович Вавилов и его время. Хроника текущих событий. Киев: РА NOVA, 2005. 448 с.
 53. Глазко В.И. Кризис аграрной цивилизации и генетически модифицированные организмы (ГМО). Киев: РА NOVA, 2006. 206 с.
 54. Глазко В.И. Геном *Oryza sativa* L. как модельный объект генетических исследований зерновых культур // С.-х. биология. Сер. Биология растений. 2006. № 5. С. 68–80.
 55. Глазко В.И. High tech, или Почему мы отстаем, а Европа не догоняет... // Вестник РАЕН. 2010. № 3. С. 9–24.
 56. Глазко В.И. Глобалистика, глобализация и аграрная цивилизация // Известия ТСХА. 2011. № 3. С. 145–156.
 57. Глазко В.И. Дискуссии о биотехнологиях продолжаются. Помогут ли генетически модифицированные сорта растений в решении современных проблем сельского хозяйства? // Защита растений. 2011. № 2. С. 12–13.
 58. Глазко В.И. Хронология генетики, предшествующих и сопутствующих событий. М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2011. 601 с.
 59. Глазко В.И. Нано- и микромасштабы в организации генетического материала (к вопросу о «хромосомных полях» Лима-Де-Фария) // ДАН. 2011. Т. 436. № 2. С. 267–269.
 60. Глазко В.И. Вавилов Н.И. и его время. Путь на Олимп (Хроника создания и распада СССР). М.: НЕФТиГАЗ, 2013. 550 с.
 61. Глазко В.И. Н.И. Вавилов и его время. Путь на Голгофу (Хроника создания и распада СССР). М.: НЕФТиГАЗ, 2014. 620 с.
 62. Глазко В.И. Экология и экономика: неестественное — неразумно // Вестник РАЕН. 2014. № 1. С. 152–153.
 63. Глазко В.И. Экология XXI век. М., 2016. 992 с.
 64. Глазко В.И., Глазко Г.В. Введение в ДНК-технологии и биоинформатику. Киев: Нора-принт, 2001. 450 с.

65. Глазко В.И., Глазко Г.В. Введение в генетику: биоинформатика, ДНК-технология, генная терапия, ДНК-экология, протеомика, метаболика. Киев: КВИЦ, 2003. 640 с.
66. Глазко В.И., Глазко Т.Т. ДНК-технологии в генетике и селекции. Краснодар, 2006. 399 с.
67. Глазко В.И., Иванов Д.И. Словарь-справочник по сельскохозяйственной экологии. СПб., 2006. 368 с.
68. Глазко В.И., Глазко Т.Т. Нанобиотехнологии в работе с геномами сельскохозяйственных видов. М: ФГОУ ВПО РГАУ; МСХА им. К.А. Тимирязева, 2007. 82 с.
69. Глазко В.И., Чешко В.Ф. «Опасное знание» в «обществе риска» (век генетики и биотехнологии): Монография. Харьков: ИНЖЭК, 2007. 544 с.
70. Глазко В.И., Чешко В.Ф. Август-48, уроки прошлого. М.: Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2009. 452 с.
71. Глазко В.И., Глазко Г.В. Словарь терминов по молекулярной биологии, генетике, селекции. В 2 т. М.: Академ Книга, 2008. Т. 1. 671 с., Т. 2. 530 с.
72. Глазко В.И., Белопухов С.Л. Нанотехнологии и наноматериалы в сельском хозяйстве М.: Издательство РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2008. 228 с.
73. Глазко В.И., Глазко Г.В. Толковый словарь терминов по общей и молекулярной биологии, общей и прикладной генетике, селекции, ДНК-технологии и биоинформатике. В 2 т. М.: Академкнига: Медкнига, 2008. Т. 1, 671 с.; Т. 2, 530 с.
74. Глазко В.И., Иваницкая Л.В. Кризисы и революции — генно-культурная парадигма // Вестн. РАЕН. 2010. № 4. С. 95–109.
75. Глазко В.И., Серебрянский Д. Биотехнологические производства заняли третье место в мире по капитализации // Защита растений. 2011. № 4. С. 8.
76. Глазко В.И., Чешко В.Ф. Август-48. Феномен пролетарской науки (научное киллерство, к истории советской генетики, к феномену распада СССР). М.: НЕФТиГАЗ, 2013. 381 с.
77. Глазко В.И., Глазко Т.Т. Генетически модифицированные растения, их появление и проблемы // Вестник РАЕН. 2014. Т. 14. № 1. С. 86–92.
78. Глазко В.И., Шульга Е.В., Дымань Т.Н., Глазко Г.В. ДНК-технологии и биоинформатика в решении проблем биотехнологий млекопитающих. Белая Церковь: Белоцерк. аграр.ун-т., 2001. 488 с.
79. Глазко В.И. и др. Введение в ДНК-технологии. М.: Росинформагротех, 2001. 436 с.
80. Глазко Т.Т., Власов В.И., Глазко В.И. Введення в нанобіо-технологію. Киев: Огляд, 2008. 109 с.
81. Глазко Т.Т., Архипов Н.П., Глазко В.И. Популяционно-генетические последствия экологических катастроф на примере Чернобыльской аварии. М: ФГОУ ВПО РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева, 2008. 556 с.
82. Глазко В.И., Косовский Г.Ю., Глазко Т.Т. Введение в геномную селекцию животных. М.: Приятная компания, 2012. 258 с.

83. Глазко В.И., Белопухов С.А., Сторчевой В.Ф. Нанотехнологии и материалы в сельском хозяйстве. М.: Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2015. 256 с.
84. Глинушкин А.П., Соколов М.С., Торопова Е.Ю. Фитосанитарные и гигиенические требования к здоровой почве. М., 2016. 288 с.
85. Грани глобализации. Трудные вопросы современного развития. М.: Альпина Паблишер, 2003. С. 13, 276, 255–288.
86. Гринин Л.Е. Государство и исторический процесс. Эпоха формирования государства: общий контекст социальной эволюции при формировании государства. М.: Ком-Книга, 2007. 272 с.
87. Гуманистический манифест 2000 // Credo. Теоретич. Философ. журн. 2000. № 2 (20).
88. Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. Проблемы устойчивого развития человечества // Россия в окружающем мире: 1998: Аналит. ежегодник. М.: Изд-во МИЭПУ, 1998. С. 39–52.
89. Джефферсон Т. Автобиография. Заметки о штате Вирджиния. М.: Наука, 1990. С. 212–216.
90. Добронравова И.С. Причинность и целостность в синергетических образах мира // Практична філософія. 2003. № 1. С. 6–10.
91. Дорогунцов С., Ральчук О. Сталий розвиток — цивілізаційний діалог природи і культури // Вісн. НАН України. 2001. № 10.
92. Жученко А.А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы): теория и практика. В 3 т. М.: Агрорус, 2008. 813 с.
93. Ермоленко А.Н. Этика ответственности и социальное бытие человека (современная немецкая практическая философия). К.: Наук. думка, 1994.
94. Ермоленко А.М. Комунікативна парактична філософія: Підручник. Киев: Лібра, 1999.
95. Задорожный Г.В., Холин О.В. Управление знаниями как специфика начала XXI века // Социальная экономика. 2003. № 4.
96. Запорожан В.Н. Биоэтика в современной медицине // Перший нац. Конгрес з біоетики, 17–20 вересня 2001 р.: Тези доп. Київ, 2001. С. 5.
97. Зомбарт В. Буржуа. М., 1924.
98. Зыбайлов Б.А., Глазко В.И. Геномная нестабильность и неканонические структуры ДНК // Известия ТСХА. 2012. № 5. С. 108–122.
99. Зуб А.Т. Биополитика: методология социального биологизма в политологии // XVIII Междунар. конгр. по логике, методологии и философии науки. М., 1987.
100. Зубаков В.А. Дом Земля: контуры экогеософского мировоззрения. СПб., 2000, С. 95.
101. Зубаков В.А. Климат в истории биосферы // Вестник Российской академии наук, 2001. Т. 71. № 2.
102. Зубков В.И. Риск как предмет социологического анализа // Социол. исследования. 1999. № 4. С. 3–9.

103. *Зубов А.А.* Становление и первоначальное расселение рода Номо. СПб.: Алетейя, 2011. 224 с.
104. *Ивантер Э.В.* Введение в теорию эволюции. Петрозаводск.: Изд-во ПетрГУ, 2012. 167 с.
105. *Инге-Вечтомов С.Г.* Матричный принцип как парадигма современной генетики // Генетика. 2013. Т. 49. № 1. С. 9–15.
106. *Исаев И.* «Общество риска» в условиях глобализации // Социс. 2001. № 12. С. 15–21.
107. *Йегер В.* Пайдейя. Воспитание античного грека. Т. 1 / Пер. с нем. А.И. Любжина. М.: Греко-латинский кабинет Ю.А. Шичалина, 2001. 610 с.
108. *Йонас Г.* Наука как персональный опыт // Человек. 1999. № 4.
109. *Йонас Г.* Принцип відповідальності. У пошуках етики для технологічної цивілізації. Киев, 1999.
110. *Каган М.С.* Философская теория ценности. СПб., 1997.
111. *Каган М.С.* И вновь о сущности человека // Отчуждение человека в перспективе глобализации мира. Вып. I. СПб.: Петрополис, 2001. С. 48–67.
112. *Камшилов М.М.* Эволюция биосферы. М.: Наука, 1974.
113. *Кант И.* Сочинения. Т. 3, 6. М.: Мысль, 1966.
114. *Кара-Мурза С.Г.* Манипуляция сознанием. М.: ЭКСМО, 2003. 503 с.
115. *Каримский А.М.* Социальный биологизм: природа и идеологическая направленность. М., 1984.
116. *Карпинская Р.С., Лисеев И.К., Огурцов А.П.* Философия природы: коэволюционная стратегия. М., 1995. с. 154.
117. *Карпинская Р.С., Никольский С.А.* Социобиология: критический анализ. М.: Мысль, 1988. С. 103.
118. Катастрофическое сознание в современном мире в конце XX века (По материалам международных исследований) / Под ред. В. Шляпентоха. М.: МОНФ [и др.], 1999. 347 с. (Научные доклады, вып. 96).
119. *Кессиди Ф.* Глобализация и культурная идентичность // Вопр. философии. 2003. № 1.
120. *Кисельов М.М., Канах Ф.М.* Національне буття серед екологічних реалій. Киев: Тандем, 2000.
121. *Клаус Д.* Знание как новая парадигма управления // Проблемы теории и практики управления. 1998. № 2.
122. Кодекс добровольно принимаемых правил, которых надлежит придерживаться при интродукции (выпуске) организмов в окружающую среду // Микробиология. 1993. Т. 62. № 2. С. 367–374.
123. *Кожурин А.Я.* Три мифологемы «крови» в истории европейской культурной традиции // Социальная аналитика ритма: Сб. матер. конф. СПб.: Санкт-Петербургское философское общество, 2001. С. 73–76.
124. *Козлова М.С.* Эволюционная судьба Номо sapiens Человек. 2000. № 1.
125. *Кон И.* Человеческие сексуальности на рубеже XXI века // Вопр. философии. 2001. № 8. С. 29–41

126. Кордюм В.А. Биоэтика — ее прошлое, настоящее и будущее // Практична філософія. 2001. № 3.
127. Корочкин Л.И. В лабиринтах генетики // Новый мир. 1999. № 4. С. 110–122.
128. Косовский Г.Ю., Корниенко Е.В., Глазко В.И. Соматическое клонирование млекопитающих: достижения, возможности, препятствия (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2014. № 2.
129. Кочеткова Т.Ю. Парадигма саморганизации и современная экологическая ситуация // Практична філософія. 2003. № 1.
130. Круткин В.Л. Онтология человеческой телесности. Ижевск: Удмурт. ун-т, 1995. С. 17.
131. Крылов О.В. Будет ли конец науки? // Рос. хим. журн. 1999. № 6.
132. Крымский С.Б. Метаисторические ракурсы философии истории // Вопр. философии. 2001. № 6. С. 32–41.
133. Кун Т. Структура научных революций: Пер. с англ. М.: Прогресс, 1977.
134. Куренной В. Этика вида и геновая инженерия // Отечеств. записки. 2003. № 1.
135. Курило Л.Ф. Развитие эмбриона и некоторые морально-этические проблемы методов вспомогательной репродукции // Проблемы репродукции. 1998. № 3. С. 39–49.
136. Кутырев В.А. Человек в бесчеловечном мире // Природа. 1989. № 5.
137. Кутырев В.А. Естественное и искусственное: борьба миров. — М.; Берлин: Directmedia, 2015, 272 с.
138. Лакан Ж. Инстанция буквы в бессознательном, или Судьба разума после Фрейда. М., 1997.
139. Лебедь Е.А., Кант И. и Йонас Г. Два подхода к природе как этической проблеме // Практична філософія. 2004. № 1.
140. Лев-Старович З. Секс в культурах мира: Пер. с польск. М.: Мысль, 1991. 255 с.
141. Леонтьева В.Н. Культуротворческий процесс. Харьков: Консум, 2003.
142. Леонтьева В.Н. Культуротворчество и адаптивные стратегии // Вестн. нац. техн. ун-та «ХПИ». Темат. вып. «Философия». 2003. № 2. С. 93–98.
143. Лесков Л.В. Постигание непредсказуемого: Бифуркационное пространство XXI века // ОНС: Обществ. науки и современность. 2001. № 6. С. 167–175.
144. Лисеев И.К., Огурцов А.П. Философия природы: коэволюционная стратегия. М., 1995.
145. Лисеев И.К. Новые методологические ориентации в современной философии биологии // Методология биологии: новые идеи (синергетика, семиотика, коэволюция). М., 2001. С. 23–24.
146. Лоренц К. Агрессия. М.: Прогресс, 1994.
147. Лосев А.Ф. История античной эстетики. Последние века. Кн. 1. М., 1988. С. 39.
148. Лось В.А., Урсул А.Д. Устойчивое развитие. М.: Агар, 2000. 254.

149. *Лотман Ю.М.* Семиосфера. СПб.: Искусство, 2000.
150. *Лукьянец В.С.* Практика нейро-лінгвістичного програмування і проблема свободи // Практична філософія. 2001. № 2. С. 38–58.
151. *Луман Н.* Риск, неопределенность, случайность // THESIS. 1994. № 5. С. 135–140.
152. *Лутай В.С.* Синергетическая парадигма как философско-методологическая основа решения главных проблем XXI века // Практична філософія. 2003. № 1. С. 10–36.
153. *Малиновский Б.* Научная теория культуры / Пер. И.В. Утехин. 2-е изд. испр. М.: ОГИ (Объединенное Гуманитарное Издательство), 2005. 184 с.
154. *Малицкий В.А., Попович А.С.* Научная этика: история и вызовы современности // Другий національний Конгрес з біоетики з міжнародною участю. Киев, 2004. С. 221–222.
155. *Мапельман В.М.* Этическое измерение глобально-космических проектов // ОНС: Обществ. науки и современность. 2000. № 1.
156. *Марков А.* Эволюция человека. В 2 кн. М.: Астрель, 2011. Кн. 1. 464 с. Кн. 2. 512 с.
157. *Марков Б.В.* Философская антропология: очерки истории и теории. СПб.: Лань, 1997.
158. *Марков Б.В.* Ницше в России и на Западе // От Гегеля к Ницше, революционный перелом в мышлении XIX века. СПб.: Владимир Даль, 2002.
159. *Маркус Г.* Несовершенный человек. Случайность эволюции мозга и ее последствия. М.: Альпина нон-фикшн, 2011. 255 с.
160. *Медников Б.М.* Аналогия (параллели между биологической и культурной эволюцией) // Человек. 2004. № 1. С. 5–17; № 2. С. 5–22.
161. *Меркулов И.П.* Эволюционная эпистемология: история и современные подходы // Эволюция, культура, познание. М.: ИФРАН, 1996. С. 6–20.
162. *Методология биологии: новые идеи (синергетика, семиотика, коэволюция).* М.: Эдиториал-УРСС, 2001. 264 с.
163. *Мечников И.И.* Этюды о природе человека. М.: Госиздат, 1923. 328 с.
164. *Мильнер Б.З.* Управление знаниями. М.: ИНФРА-М, 2003.
165. *Моисеев Н.Н., Александров В.В., Тарко А.М.* Человек и биосфера. Опыт системного анализа и эксперименты с моделями. М.: Наука, 1985. 272 с.
166. *Моисеев Н.Н.* Современный антропогенез: цивилизационные разломы. Эколого-политологический анализ // Вопр. философии. 1995. № 1. С. 3–30.
167. *Моисеев Н.Н.* Современный рационализм. М., 1995.
168. *Моисеев Н.Н.* Судьба цивилизации. Путь разума. М.: МНЭПУ, 2000. 224 с.
169. *Мондимер Фр.М.* Сексуальность. Естественная история. / Пер. с англ. Л. Володиной. Екатеринбург: У-Фактория, 2002. 333 с.
170. *Мюллер-Хилл Б.* Генетика человека и массовые убийства // Человек. 1997. № 4.
171. *Назаретян А.П.* Синергетическая модель антропогенных кризисов и количественная верификация гипотезы техногуманитарного баланса // Си-

- нергетич. парадигма: Многообразие поисков и подходов. М.: Прогресс-Традиция, 2000. С. 458–467.
172. *Назаретян А.П.* Цивилизационные кризисы в контексте универсальной истории. М.: ПЕР-СЕ, 2001. 239 с.
173. *Налимов В.В.* Спонтанность сознания. Вероятностная смысловая семантика личности. М.: Прометей, 1989.
174. Наука: Возможности и ограничения. М.: Наука, 2003.
175. *Нежинский И.В.* Традиция, культура, эзотеризм. Традиция в пространстве культуры. URL: // <http://fourthway.narod.ru/lib/exlib/tke.htm>
176. *Ницше Ф.* По ту сторону добра и зла. Кн. 2. М.: Сирин, 1990. С. 31.
177. *Ницше Ф.* Так говорил Заратустра. Избр. произв. М.: Сирин, 1990. Кн. 1.
178. *Олескин А.В.* Биополитика и ее приложимость к социальным технологиям // *Вопр. философии.* 1995. № 7.
179. *Олескин А.В.* Биополитика. Политический потенциал современной биологии: философские, политологические и практические аспекты. М.: ИФРАН, 2001.
180. *Ортега-и-Гассет.* Восстание масс // *Вопр. философии.* 1989. № 3–4.
181. *Панарин А.С.* Глобальное политическое прогнозирование. М.: Алгоритм, 2002. 352 с.
182. *Панарин А.С.* Синтетическая парадигма и глобальное политическое прогнозирование // *Социальная экономика.* 2002. № 4. С. 3–29.
183. *Панарин А.С.* Стратегическая нестабильность в XXI веке. М.: Алгоритм, 2003.
184. Перспективы человека в глобализирующемся мире / Под ред. В.В. Парцвания. СПб.: Санкт-Петербург. философ. о-во, 2003.
185. *Петрушенков С.П.* Профанация синергетики: Интернет как зеркало мнимой угрозы // *Практична філософія.* 2003. № 1. С. 94–104.
186. *Печчеи А.* Человеческие качества / Пер. с англ. О.В. Захарова; Общ. ред. Д.М. Гвишиани. 2-е изд. М.: Прогресс, 1985. 312 с.
187. *Плюснин Ю.М.* Проблема биосоциальной эволюции. Новосибирск: Наука, 1990.
188. *Плюснин Ю.М.* Проблемы социальной биологии. Новосибирск, 2001. 100 с.
189. *Подлазов А.В.* Самоорганизованная критичность и анализ риска // *Изв. вузов. Прикладная и нелинейная динамика.* 2001. Т. 9. № 1. С. 49–86.
190. *Подорога В.А.* Власть и познание (археологические поиски М. Фуко) // *Власть.* М., 1989.
191. *Поликарпов В.С., Волков Ю.Г., Поликарпова В.А.* Современная культура и геновая инженерия: Философские размышления. Ростов-н/Д: Изд-во РГУ, 1991. 120 с.
192. *Попов Ю.П.* Управление риском и наука: Крит. обзор. Проблемы и перспективы // *Изв. вузов. Прикладная и нелинейная динамика.* 2001. № 3. С. 124–127.
193. *Порус В.Н.* Философия техники // *Современная западная философия.* М.: Политиздат, 1991. С. 344.

194. *Поттер В.Р.* Биоэтика: мост в будущее. Киев: Вадим Карпенко, 2002.
195. *Поттер В.Р.* Глобальная биоэтика: движение культуры к более жизненным утопиям с целью выживания // Практична філософія. 2004. № 1. С. 4–14.
196. *Пригожин И., Стенгерс И.* Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. М.: Прогресс, 1986.
197. *Пригожин И.* Природа, наука и новая рациональность // Философия и жизнь. Вып 7. М.: Знание, 1991. С. 36.
198. Приоритетные направления и результаты научных исследований по нанотехнологиям в интересах АПК. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. 236 с.
199. *Рачков В.П., Новичкова Г.А., Федина Е.Н.* Человек в современном технизированной обществе: Проблемы безопасности развития. М.: ИФРАН, 1998. 194 с.
200. *Решетников В.Н., Спиридович Е.В., Носов А.М.* Биотехнология растений и перспективы ее развития // Физиология растений и генетика. 2014. № 46. № 1. С. 3–18.
201. *Ридли М.* Геном. Автобиография вида в 23 главах. 2-е изд.: Пер. с англ. М.: Эксмо, 2015. 500 с.
202. *Рифкин Д.* Третья промышленная революция: Как горизонтальные взаимодействия меняют энергетику, экономику и мир в целом. М.: Альпина Паблишер, 2014. 416 с.
203. *Родин С.Н.* Идея коэволюции. Новосибирск: Наука, 1991.
204. *Россиянов К.О.* Цена прогресса и ценности науки: новая книга по истории евгеники // Вопр. ист. естествозн. и техн. 2000. № 1.
205. *Рьюз М., Уилсон Э.* Дарвинизм и этика // Вопр. философии. 1987. № 1.
206. *Савельев С.В.* Изменчивость и гениальность. М.: ВЕДИ, 2012. 128 с.
207. Синергетическая парадигма. М.: Прогресс-Традиция, 2000.
208. *Северцов А.С.* Теория эволюции. М.: Владос, 2005
209. *Сироткина И.Е.* Мозг гения // Человек. 1999. № 4–5.
210. *Сироткина И.Е.* Психопатология и политика // Вопр. истории естествозн. и техн. 2000. № 1.
211. *Сироткина И.Е.* Классики и психиатры: Психиатрия в российской культуре конца XIX — начала XX века. М.: Новое лит. обозрение, 2008. 272 с.
212. *Смилга В.П.* Кролики и удавы, или удавы и кролики (Наука и этика, или этика и наука) // Росс. хим. журн. 1999. № 6.
213. *Смит Р.* Человек между биологией и культурой // Человек. 2000. № 1.
214. *Смоловик В.В.* К вопросу о теории социальной экономики // Социальная экономика. 2004. № 3. С. 57–68.
215. Современная экономическая мысль. М.: Прогресс, 1981.
216. *Согрин В.В.* Мир американских рабовладельцев: Кэлхун, Фицхью и другие // Новая и новейшая история. 1990. № 5.
217. *Сокулер З.А.* Методология гуманитарного познания и концепция «властизнания» Мишеля Фуко // Философ. науки. 1998. № 4. С. 167–176.
218. *Соловьев В.С.* Соч. Т. 2. М.: Правда, 1989. С. 433–434.

219. *Сорокин П.* Социальная и культурная динамика. СПб.: РХГИ, 2000.
220. *Сорос Дж.* Кризис мирового капитализма. Открытое общество в опасности. М.: ИНФРА-М, 1999.
221. *Спиридонова В.И.* Амбивалентность глобализации // Полигнозис. 2003. № 1. С. 31.
222. *Степанов В.С.* Цивилизационное состояние общества с точки зрения биополитологии // Клио. 1999. № 1.
223. *Степин В.С.* Философская антропология и философия науки. М.: ИФРАН, 1992.
224. *Степин В.С., Кузнецова Л.Ф.* Научная картина мира в культуре техногенной цивилизации. М.: ИФРАН, 1994. 274 с
225. *Степин В. С., Горохов В.Г., Розов В.А.* Философия науки и техники. М.: Контакт-Альфа, 1995.
226. *Степин В.С.* Теоретическое знание. М.: Прогресс-Традиция, 2000. 743 с.
227. *Страхов Н.Н.* О вечных истинах. Мой спор о спиритизме. СПб., 1887. С. 100.
228. *Стронин А.И.* Политика как наука. СПб., 1872.
229. *Тарантул В.* Геном человека: энциклопедия, написанная четырьмя буквами. М.: Языки славянской культуры, 2003. 538 с.
230. *Тимофеев-Ресовский Н. В., Воронцов Н.Н., Яблоков А.В.* Краткий очерк теории эволюции. 2-е изд., перераб. М.: Наука, 1977.
231. *Тихонравов Ю.В.* Геополитика: Учеб. пособ. М.: ИНФРА-М, 2000.
232. *Тищенко П.Д.* Биовласть в эпоху биотехнологии. М.: ИФРАН, 2001. 177 с. 2-е изд. М.; Берлин: Directmedia, 2013. 182 с.
233. *Тищенко П.Д.* Россия 2045: котлован для аватара // Вопросы философии. 2014. № 8. С. 181–186.
234. *Толстоухов А.В.* Планетарный социум и его эко-будущее // Практична філософія. 2001. № 3.
235. *Толстоухов А.В.* Самоорганізація ноосфери й глобальна екологічна криза // Практична філософія. 2003. № 1.
236. *Томаселло М.* Истоки человеческого общения: Пер. с англ. М.: Языки славянских культур, 2011. 328 с.
237. *Тоффлер Э.* Третья волна. М.: АСТ, 1999.
238. Управление риском: Риск. Устойчивое развитие. Синергетика. М.: Наука, 2000. 431 с.
239. *Фейерабенд П.* Избранные труды по методологии науки. М.: Мысль, 1986.
240. Философия экономики. Киев: Альтерпрес, 2002. 284 с.
241. *Фогель Ф., Мотульски А.* Генетика человека. В 3 т. М.: Мир, 1990. 378 с.
242. *Форрестер Дж.* Мировая динамика: Пер. с англ. / Под ред. Д.М. Гвишиани, Н.Н. Моисеева. М., 1978. 167 с.
243. *Фрейд З.* Недовольство культурой // Философ. науки. 1989. № 1.
244. *Фрейд З.* Психоанализ. Религия. Культура. Ренессанс. М., 1992.
245. *Фромм Э.* Человек для себя. Минск: Коллегиум, 1992. С. 73.

246. Фуко М. Воля к истине: по ту сторону знания, власти и сексуальности. Работы разных лет. М., 1996.
247. Фуко М. Рождение клиники. М.: Смысл, 1998.
248. Фукуяма Ф. Наше постчеловеческое будущее: Последствия биотехнологической революции / Пер. с англ. М.Б. Левина. М.: АСТ: ЛЮКС, 2004. 349 с.
249. Фукуяма Ф. Конец истории и последний человек / Пер. с англ. М.Б. Левина. М.: АСТ, 2005. 588 с.
250. Хабермас Ю. Будущее человеческой природы: Пер. с нем. М.: Весь мир, 2003. 144 с.
251. Хабермас Ю. Политические работы. М.: ПРАКСИС, 2003. 384 с.
252. Хайдеггер М. Кант и проблема метафизики. М.: Логос, 1997. С. 50–64.
253. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980.
254. Хакен Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам. М.: Мир, 1991. 240 с.
255. Хардт М., Негри А. Империя: Пер. с англ. М.: Праксис, 2004.
256. Харченко П.Н., Глазко В.И. ДНК-технологии в развитии агробиологии. М.: Воскресенье, 2006. 480 с.
257. Хиггинс Р. Седьмой враг. Человеческий фактор в глобальном кризисе (главы из книги) // Глобальные проблемы и общечеловеческие ценности. М., 1990. С. 23.
258. Холин О.В. Внутрифирменное управление знаниями как основание инновационного развития // Социальная экономика. 2004. № 1–2.
259. Холтон Дж. Что такое «антинаука»? Постмодерн в философии, науке, культуре. Харьков: СиМ, 2000. С. 416.
260. Чайковский Ю.В. Эволюция. М.: Центр системных исследований ИИЕТ РАН. 2003. 472 с. URL: <http://evolution.powernet.ru/library/chaikovsky.pdf>
261. Чешко В.Ф. Наука и государство. Методологический анализ социальной истории науки (генетика и селекция в России и Украине в советский период). Харьков: Основа, 1997.
262. Чешко В.Ф. Генетика, біоетика, політика: коеволюція культурно-психологічних парадигм сучасної цивілізації // Практична філософія. 2001. № 3.
263. Чешко В.Ф. Біоетика і громадянське суспільство // Вісн. НАН України. 2002. № 1. С. 43–49.
264. Чешко В.Ф., Кулиниченко В.Л. Наука, этика, политика: социокультурные аспекты современной генетики. Киев: ПАРАПАН, 2004. 228 с.
265. Чешко В.Ф. Hi-Hume технологии. Размышления об этике и теории познания в эпоху управляемой эволюции // Universitates. 2006. № 2.
266. Чешко В.Ф., Беспалов Ю.Г., Носов К.В. Технологии управляемой эволюции и дихотомия научного знания (опыт концептуального моделирования) // Практична філософія. 2008. № 1. С. 16–26.
267. Чешко В.Ф., Глазко В.И. High Hume (Биовласть и биополитика в обществе риска). М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2009. 319 с.

268. Чешко В.Ф., Иваницкая Л.В., Глазко В.И. Постиндустриальная наука XXI века — рационализм versus иррационализм: эволюционно-философский аспект // Вестн. РАЕН. 2011. № 3. С. 68–77.
269. Чешко В.Ф. Стабильная адаптивная стратегия Homo sapiens. Биополитические альтернативы. Проблема Бога: Монография. Харьков: ИНЖЭК, 2012. 596 с.
270. Чешко В.Ф., Косова Ю.В. Социальная верификация — человеческие измерения фундаментальной науки и высоких технологий (casus биоэтики) // Практ. Філософія. 2011. № 1. с. 94–100; № 2 с. 46–55; 2012. № 1. С. 59–69
271. Чешко В.Ф., Иваницкая Л.В., Глазко В.И. Эволюционный риск HIGH NUME технологий. Статья 1, 2 // Интеграт. антропол. 2014. № 2. С. 4–14; 2015. № 1. С. 4–15.
272. Чешко В.Ф., Передяденко А.С. Дескриптивная и социокультурная (этическая) составляющие в структуре эволюционного риска генно-инженерного технологического комплекса // Эколог. вестник. 2015. № 1. С. 64–72.
273. Шанже Ж.П. Нейрофизиологические основы этического поведения // Человек. 1999. № 5–6.
274. Шахбазов В.Г., Чешко В.Ф. Генетика в современном мире (сопряженная эволюция науки и социума) // Тр. по фундамент. и прикл. генет. (к 100-летию юбилею генетики). Харьков: Штрих, 2001. С. 8–23.
275. Штанько Т.В. Экономический метод: от классической к постнеклассической рациональности // Вестн. харьков. нац. ун-та им. В.Н. Каразина. 2004. № 625–1. С. 41–45.
276. Щедрин А.Т. Социотехническое мифотворчество как феномен культуры (история и современность) // Вестн. нац. техн. ун-та «ХПИ». Темат вып.
277. Шумный В.К. Генная и хромосомная инженерия для растений. URL: <http://do.gendocs.ru/docs/index-206460.html>.
278. Энгдаль У.Ф. Семена разрушения: Тайная подоплека генетических манипуляций. СПб.: Нестор-История, 2009. 320 с.
279. Эйген М., Винклер Р. Игра жизни. Пер. с немецк. М.: Наука, 1979. 100 с.
280. Этика геномики [материалы научной конференции «Геном человека — 1999», Черногловка, февраль 1999 г.] // Человек. 1999. № 4–5.
281. Юдин Б.Г. О человеке, его природе и будущем // Вопр. философии. 2004.
282. Яблоков А.В., Юсуфов А.Г. Эволюционное учение. М.: Изд-во МГУ, 2006. 336 с.
283. Яницкий О.Н. Методология исследования социально-экологических проблем // Вопр. философии. 1982. № 3.
284. Яницкий О.Н. Социология и рискология // Россия: Риски и опасности «переходного» общества. М., 2000. С. 9–36;
285. Яницкий О.Н. «Критический случай»: Социальный порядок в обществе риска // Социолог. обозрение. 2002. Т. 2. № 2.
286. Яницкий О.Н. Социология риска: ключевые идеи // Мир России. 2003. № 1. С. 3–35.

287. Яницкий О.Н. Россия как общество риска: методологический анализ и контуры концепции // ОНС: Обществ. науки и современность. 2004. № 2. С. 5–15.
288. Ясперс К. Смысл и назначение истории. М.: Республика, 1994. С. 370–371.
289. Abel Th. Culture in cycles: considering H.T. Odum's «information cycle» // International Journal of General Systems. 2014. Vol. 43, No 1. P. 44–74. <http://dx.doi.org/10.1080/03081079.2013.852188>
290. Bashir Abu-Manneh. The Illusions of Empire. 2003. Monthly Review. Vol. 56, No 2.
291. Baulcombe D. Reaping Benefits of Crop Research//Science. 2010. Vol. 327. P. 761.
292. Beck U. From Industrial Society to the Risk Society // Theory, Culture and Society, February 1992, V. 9. No. 1. P. 97–123.
293. Beck U. Risikogesellschaft. Auf dem Weg in Eine Andere Moderne. Frankfurt-Maine: Suhrkamp, 1986.
294. Beebe J.R., Buckwalter W. The Epistemic Side-Effect Effect // Mind & Language. 2010. Vol. 25. No. 4. P. 474–498.
295. Biro D., Haslam M., Rutz Ch. Tool use as adaptation // Phil. Trans. R. Soc. Ser. B. 2013. Vol. 368. No. 1630. doi:10.1098/rstb.2012.040.
296. Blank R.H. Biopolitics: A Restatement of Its Role in Politics and the Life Sciences.
297. Bostrom N. A History of Transhumanist Thought // Journal of Evolution and Technology. 2005. Vol. 14, Issue 1. P. 14.
298. Boyle R.J., Savulesky J. Ethics of using preimplantation genetic diagnosis to select a stem cell donor for an existing person // Brit. Med. Journ. 2001. Vol. 323. P. 1240–1243.
299. Caldwell L.K. Biopolitics, science, ethics and public policy // Yale Rev. 1964. Vol. 54, No 1.
300. Cederroth C.R., Nef S. Soy, phytoestrogens and metabolism: A review // Molecular and Cellular Endocrinology. 2009. Vol. 304. P. 30–42.
301. Cheshko V.T. The initial stages of the mendelism-lysenkoism clash in the Ukraine // Folia mendeliana. 1999. No 33–34. P. 71–78.
302. Cheshko V.T., Ivanitskaya L.V., Kosova Y.V. Configuration of Stable Evolutionary Strategy of Homo Sapiens and Evolutionary Risks of Technological Civilization (the Conceptual Model Essay) // Biogeosyst. Tech., 2014, Vol.1, № 1. P. 58–69.
303. Chiao Joan Y., Blizinsky Katherine D. Culture-gene coevolution of individualism-collectivism and the serotonin transporter gene // Proc. Royal. Soc. 2010. Ser. B. Vol. 277. P. 529–537.
304. Chuan-Chao Wang, Hui Li. Inferring human history in East Asia from Y-chromosomes // Investigative Genetics 2013. Vol. 4, No 11. P. 1–10. URL: <http://www.investigativegenetics.com/content/4/1/11>.
305. Coeckelbergh M. Human Being and Risk. Enhancement, Technology, and the Evaluation of Vulnerability Transformations. Dordrecht; N. Y.: Springer, 2013. 218 p.

306. *Colapinto J.* As Nature Made Him: The Boy Who Was Raised As a Girl, New York: HarperCollins, 2000, p. 58.
307. Common Knowledge: The Challenge of Transdisciplinarity // Moira Cockell, Jérôme Billotte, Frédéric Darbellay. Loussane: EPFL Press, 2011. 241 p.
308. *Cooper B, Clarke J.D., Budworth P. et al.*, A network of rice genes associated with stress response and seed development//PNAS. 2003. Vol. 100, N. 8. P. 4945–4950.
309. *Cousins S.D.* A semiotic approach to mind and culture // Culture & Psychology. 2012. Vol. 18, No. 2. P. 149–166.
310. *Cousins S.D.* The semiotic coevolution of mind and culture // Culture & Psychology. 2014. Vol. 20. No 2. P. 160–191.
311. *Crespi B.J.* The origins and evolution of genetic disease risk in modern humans // Ann. N.Y. Acad. Sci. 2010. Vol. 1206. P. 80–109.
312. Cultural transmission and the evolution of human behaviour: a general approach based on the Price equation / C. El Mouden, J.B. Andre, O. Morin, D. Nettle // J. Evol. Biol. 2014. Vol. 27, No 2. P. 231–241
313. *Danchin E.* Avatars of information towards an inclusive evolutionary synthesis // Trends in Ecology and Evolution. 2013. Vol. 28. No. 6. P. 351–358.
314. *Deleus G., Guattari F.* Anti-Oedipus: Capitalism and Schizophrenia. N.Y., 1987.
315. *Dominguez AA, Lim WA, Qi LS.* Beyond editing: repurposing CRISPR-Cas9 for precision genome regulation and interrogation.// Nat Rev Mol Cell Biol., 2016;17(1):5–15. doi: 10.1038/nrm.2015.2
316. *Dey A, Samanta MK, Gayen S, Sen SK, Maiti MK* (2016) Enhanced Gene Expression Rather than Natural Polymorphism in Coding Sequence of the OsbZIP23 Determines Drought Tolerance and Yield Improvement in Rice Genotypes. PLoS ONE11 (3): e0150763. doi:10.1371/journal.pone.0150763
317. *Douglas M., Wildavsky A.* Risk and Culture: An Essay on Selection of Technological and Environmental Dangers. Berkley, 1982.
318. *Douglas Th.* Moral bioenhancement, freedom and reasoning // J. Med. Ethics. 2014. Vol. 40. P. 359–360
319. *Dudley R.* The drunken monkey: why we drink and abuse alcohol / R. Dudley. Berkeley; Los Angeles; L.: University of California Press, 2014. 179 p.
320. *Edwards R.G., Hollands P.* New advances in Human embryology: implications of the preimplantation diagnosis of genetic disease // Hum Reprod. 1988. Vol. 3. P. 549–556.
321. *Einsele A.* The Gap between Science and Perception: The Case of Plant Biotechnology in Europe // Adv Biochem Eng.in Biotechnol. 2007. Vol. 107. P. 1–11.
322. ESHRE PGD Consortium Steering Committee ESHRE Preimplantation Genetic Diagnosis Consortium: data collection III (May 2001) // Hum. Reprod. 2002. Vol. 17, No 1. P. 233–246.
323. ESHRE PGD Consortium Steering Committee, (2000). ESHRE Preimplantation Genetic Diagnosis (PGD) Consortium: data collection II (May 2000) // Hum Reprod. Vol. 15. P. 2673–2683.

324. *Evans G.M., Furlong J.C.* Environmental Biotechnology: Theory and Application. Second Edition. N.Y.: John Wiley & Sons, 2011. 272 p.
325. *Fellmann F.* Eroticism: Why It Still Matters // *Psychology*. 2016. Vol. 7. № 7. P. 976–983.
326. *Fiechter A., Sautter C.* (ed.). Green Gene Technology: Research in an Area of Social Conflict. Berlin: Springer, 2007. 287 p.
327. *Foley R., Gamble C.* The ecology of social transitions in human evolution // *Trans. Royal. Soc.* 2009. Ser. B. Vol. 364. P. 3267–3327
328. *Fukuyama F.* Our posthuman future: Consequences of the biotechnology revolution. N.Y: Macmillan, 2003. 272 p.
329. *Gaylin W.* Jennings B The Perversion of Autonomy. The Proper Use of Coercion and Constrains in a Liberal Society. N. Y., 1996.
330. *Glazko V.I., Glazko T.T.* Genome of rise (*Oryza sativa* L.) as model and its coevolution with human. MOSCOW, 2006. 34 p.
331. *Glazko V.I., Glazko T.T.* Conflicts of Biosphere and Agroecosystems // *International Journal of Environmental Problems*. 2015. T. 1. № 1. C. 4–16.
332. GM soybeans — revisiting a controversial format // *Nature Biotechnology*. 2007. Vol. 25. No. 12. P. 1351–1355.
333. *Greitemeyer T., Kastenmüller A., Fischer P.* Romantic motives and risk-taking: an evolutionary approach // *Journ. Risk Res.* 2013. Vol. 16, No. 1. P. 19–38.
334. *Haldane J.B.S.* Daedalus, or, Science the Future. London: Paul, Trench, Tubner and Co., 1924. P. 3.
335. *Hall K.T., Loscalzo J., Kaptchuk T.J.* Genetics and the placebo effect: the placebo // *Trends in Molecular Medicine*. 2015. P. 1–10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.molmed.2015.02.009>.
336. *Hall K.T., Loscalzo J., Kaptchuk T.J.* Genetics and the placebo effect: the placebo // *Trends in Molecular Medicine*. 2015. P. 1–10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.molmed.2015.02.009>.
337. *Hanashke-Abel H.M.* Not a Slippery Slope or Sudden Subversion // *Brit. Med. Journ.* 1996. Vol. 313. P. 1453–1463.
338. Handbook of Research on Technoself: Identity in a Technological Society / Ed. Lippinchini R., Hershey: IGI Global. 2013. 741 p.
339. *Hardt M., Negri A.* Empire/ London: Cambridge; Harvard University Press, 2002.
340. *Hazell P., Wood S.* Drivers of change in global agriculture // *Phil. Trans. R. Soc. B.* 2008. Vol. 363. P. 495–515
341. *Henrich J., Heine S.J., Ara Norenzayan.* The weirdest people in the world? // *Behav. Brain Sci.* 2010. Vol. 33. P. 61–135.
342. *Henrich J.* Rice, Psychology, and Innovation // *Science*. 2014. Vol. 344, No. 6184. P. 593–594.
343. *Heyd D.* Genethics. Moral Issues in the Creation of People. Berkeley; Los Angeles; London: University of California Press, 1992. P. 7.
344. *Hines S.M., Jr.* Politics and the Evolution of Inquiry in Political Science // *Politics and the Life Sci.* 1982. Vol. 1, No 1.
345. *Huxley J.* Religion without revelation London: Benn, 1927.

346. *Hyakudai Sakamoto*. Foundation of East sian Bioethics // EUBIOS. 1996. No. P. 31–32.
347. *Hyakudai Sakamoto*. The Human Genome and Human Control of Natural Evolution // Перший нац. Конгрес з біоетики, 17–20 вересня 2001 р.: Тези доп. Київ, 2001. С. 5.
348. International Human Genome Sequencing Consortium. Initial sequencing and analysis of the human genome // Nature 2001. Vol. 409. P. 860–921
349. Interdisciplinarity in biotechnology, genomics and nanotechnology // Science and Public Policy. 2012.[Электр.ресурс Режим доступа]: <http://spp.oxford-journals.org.sci-hub.org/content/40/1/97> doi:10.1093/scipol/scs070.
350. *Ivanitskaya L.V., Sokolov M.S., Glazko V.I.* No-alternative and the Factors of Social and Environmental Co-evolution of the Biosphere into the Noosphere (the Development of the Biosphere Ideas of Vernadsky) // Biogeosystem Technique, 2015, Vol.(3), Is. 1.p. 29–50.
351. *Jablonka E., Lamb M.J.* Evolution in Four Dimension. Cambridge(Mass): MIT, 2005. 262 p.
352. *Jantsch E.* The Selforganizing Universe: Scientific and Human Implicatory of Emerging Paradigm of Evolution. Oxford, 1980.
353. *Jantsch E.* The Selforganizing Universe: Scientific and Human Implicatory of Emerging Paradigm of Evolution. Oxford, 1980.
354. *Johnston A.S.* Rat reality show blurs quality control // Nature. 2013. Vol. 493. P. 304.
355. *Jonas H.* Wissenschaft als personliches Erlebnis. // Die 600-Jahr-Feier der Ruprecht-Karls-Universität. Heidelberg, 1987.
356. *Jonason P.K., Wee S., Li N.P.* Thinking bigger and better about bad apples. Evolutionary industrial organizational psychology and the Dark Triad. Industrial and Organizational Psychology. 2014. Vol. 7. No 1. P. 117–121.
357. *Joshi R, Wani SH, Singh B, Bohra A, Dar ZA, Lone AA, Pareek A, Singla-Pareek SL.* Transcription Factors and Plants Response to Drought Stress: Current Understanding and Future Directions.// Front Plant Sci. 2016 Jul 14;7:1029. doi: 10.3389/fpls.2016.01029. eCollection 2016.
358. *Kaebnick G.E.* Human Nature without Theory // The Ideal of Nature. Johns Hopkins University. 2012. P. 50.
359. *Kevles D.J.* Eugenics and Human Rights // Brit. Med. Journ. 1999. Vol. 319. P. 435–438.
360. *Kidd D.C., Castano E.* Reading Literary Fiction Improves Theory of Mind // Science. 2013. Vol. 342, No. 6156. P. 377–380.
361. *Knobe, J.* Intentional action in folk psychology: an experimental investigation // Philosophical psychology. 2003. Vol. 16. P. 309–324.
362. *Koch T.* Enhancing Who? Enhancing What? Ethics, Bioethics, and Transhumanism // J. Med. Philos. 2010. Vol. 35. No 6. P. 685–699.
363. *Kohlberg L.* Stage and sequence: The cognitive-developmental approach to socialization // Handbook of Socialization Theory and Research. Chicago: Rand McNally. 1969. P. 347–480.

364. *Kwon, Hong, Son et al.* CACTA and MITE Transposon Distributions on a Genetic Map of Rice Using F15 RILs Derived from Milyang 23 and Gihobyeo Hybrids // *Mol. Cells*. 2006. Vol. 21. No. 3. P. 360–366)
365. *Lewis SL, Maslin MA.* Defining the anthropocene. 2015, 519(7542):171–80. doi: 10.1038/nature14258
366. *Koonin E.V.* The Logic of Chance: The Nature and Origin of Biological Evolution Nrw Jesej.: Person Edcation, 2011. 528 p. (Русск.пер.: Кунин Е.В. Логика случая. О природе и происхождении биологической эволюции: Пер. с англ. М.: Центрполиграф, 2014. 527 с.)
367. *Kuzawa C.W., Bragg J.M.* Plasticity in Human Life History Strategy Implications for Contemporary Human Variation and the Evolution of Genus Homo // *Current Anthropology*. 2012. Vol. 53. Suppl. 6. P. S369–S382.
368. *Laland K.N., Odling Smee J., Myles S.* How culture shaped the human genome: bringing genetics and the human sciences together // *Nature Review Genetics*. 2010. Vol. 11. P. 137–148
369. *Langridge W.H. R. et al.* Edible vaccines // *Scientific American*. 2000. Т. 283. № 3. С. 48–53.
370. Late lessons from early warnings: science, precaution, innovation. Copenhagen: European Environment Agency, 2013. 746 p. (EEA Report. 2013. No 1).
371. *Lem S. Eden.* Krakow; Wroclaw: Wyd. Literackie, 1984.
372. *Leydesdorff L., Franse S.* The Communication of Meaning in Social Systems // *Systems Research and Behavioral Science*. 2009. 26, No 1. P. 109–117.
373. *Lieberman D.* The story of the human body: evolution, health, and disease. N.Y.: Pantheon, 2013. 480 p.
374. *Lewis SL, Maslin MA.* Defining the anthropocene. 2015, 519(7542):171–80. doi: 10.1038/nature14258
375. *Lindeberg S.* Food and Western Disease: Health and nutrition from an evolutionary perspective. Oxford: Wiley-Blackwell, 2010. 370 p.
376. *Li Y, Li C, Xia J, Jin Y* (2011) Domestication of Transposable Elements into MicroRNA Genes in Plants. *PLoS ONE*6(5): e19212. doi:10.1371/journal.pone.0019212
377. Long term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant genetically modified maize / G.-E. Seralini, E. Clair, R. Mesnage, et al. // *Food Chem. Toxicol.* 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2012.08.005>
378. *Lower G.M. Jr.* Extending Global Bioethics//Практична філософія. 2004.
379. *Luhmann N.* Sociologies des Risikos. Berlin, 1991.
380. *Lumsden C.J., Wilson E.O.* Genes, Mind and Culture: The Coevolutionary Process. Cambridge (MA), 1981.
381. *Ma Alvin C., McNulty M.S., Poshusta T.L., Campbell J.M., Martínez-Gálvez G., Argue D.P., Lee H.B., Urban M.D., Bullard C.E., Blackburn P.R., Man T.K., Clark K.J., Ekker S.C.* *FusX*: A Rapid One-Step Transcription Activator-Like Effector Assembly System for Genome Science//*Human Gene Therapy*, 2016, 27(6): 451–463. doi:10.1089/hum.2015.172,

382. *Margulis L., Sagan D.* Acquiring genomes: A theory of the origins of species. Basic Books, 2008. 256 p.
383. *Mameli M.* Nongenetic selection and nongenetic inheritance // *Brit. J. Philos. Sci.* 2004. Vol. 55. P. 35–71;
384. *Miller G.* The mating mind: How sexual choice shaped the evolution of human nature. N.Y.: Anchor, 2001. 446 p.
385. *Miller H.I.* Is the Biodiversity Treaty a Bureaucratic Time Bomb? Hoover Institution on War. № . V, Revolution and Peace. Stanford University, 1995. 11 p.
386. *Miller H.I.* UN-based biotechnology regulation: scientific and economic havoc for the 21st century // *Trends in Biotechnology.* 1999. Vol. 17. P. 185–190.
387. *Nemudryi A.A., Valetdinova K.R., Medvedev S.P., Zakian S.M.* TALEN and CRISPR/Cas Genome Editing Systems: Tools of Discovery // *Acta Naturae*, 2014, 6(3):19–40.
388. Neural Correlates of Post-Conventional Moral Reasoning: A Voxel-Based Morphometry Study / K. Prehn, M. Korczykowski, H. Rao, Zhuo Fang, J.A. Detre, D.C. Robertson // *PLoS One.* 2015. Vol. 3, No 10(6). Publ. e0122914. doi: 10.1371/journal.pone.0122914. eCollection 2015.
389. *Nisbett R.E. et al.* Culture and Systems of Thought: Holistic Versus Analytic Cognition / R.E. Nisbett, K. Peng, Incheol Choi, Ara Norenzayan // *Psychological Review.* 2001, Vol. 108, No. 2. P. 291–310
390. *Norenzayan A.* Big Gods: How Religion Transformed Cooperation and Conflict. Princeton: Princeton University Press, 2013. 226 p. № 1. C. 25–35.
391. *O'Brien M. J., Laland K.N.* Genes, Culture, and Agriculture: An Example of Human Niche Construction // *Current Anthropology.* 2012. Vol. 53, No. 4. P. 434–470
392. *Odling-Smee J.* Niche construction in evolution, ecosystems and developmental biology // *Mapping the future of biology.* Dordrecht: Springer, 2009. P. 69–91.
393. *Pagano U.* Love, war and cultures: an institutional approach to human evolution // *J Bioecon.* 2013. Vol. 15. P. 41–66.
394. *Pagel M.* Wired for culture: Origins of the Human Social Mind. N.Y.; L.: Norton, 2013. 416 p.
395. *Paul B.D.* What is Genetic Test, and Why does it Matter // *Endeavour.* 1999. Vol. 23. P. 159–161.
396. *Paul D.B., Falk R.* Scientific Responsibility and Political Context: The Case of Genetics under Swastika // *Biology and Foundation of Ethics.* Cambridge, Univ. Press, 1999. P. 257–275.
397. *Payne S.G.* A History of Fascism. Madison: Univ. of Wisc., 1995.
398. *Pearson R.* Heredity and Humanity: Race, Eugenics and Modern Science. Washington: Scott-Townsend, 1996. 162 p.
399. *Pretty J.* Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence // *Phil. Trans. R. Soc. B.* 2008. Vol. 363. P. 447–465
400. Public perceptions of agri-food applications of genetic modification. A systematic review and meta-analysis // L.J. Frewera, I. A. van der Lansb, A.R.H. Fischerb et al. *Trends in Food Science & Technology* 2013. No 30. P. 142–152.

401. Rich A., Stevens C.F. «Obituary: Francis Crick (1916–2004)». *Nature* 430: 845–847.
402. Richerson Peter J., Boyd Robert, Henrich Joseph. Gene-culture coevolution in the age of genomics // *Proc. Nat.Acad.Sci.* 2010. Vol. 107. Suppl. 2. P 8985–8992.
403. Risk, mobility or population size? Drivers of technological richness among contact-period western North American hunter–gatherers / Collard M., Buchanan B., O’Brien M.J., Scholnick J. // *Phil. Trans. R. Soc. Ser. B.* 2013. Vol. 368. No. 1630. doi:10.1098/rstb.2012.0412.
404. Rhodora R et al. Trends in global approvals of biotech crops (1992–2014), *GM Crops & Food.* 2015.. Vol. 6, Is. 3. P. 150–166.
405. Rosenquist J.N. et al. Cohort of birth modifies the association between FTO genotype and BMI // *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 2015. Vol. 112. № 2. P. 354–359.
406. Russel B. *Ikarus, or the Future of Science.* London: Paul, Trench, Trubner and Co, 1924. P. 1.
407. Sagan D. *Lynn Margulis: The Life and Legacy of a Scientific Rebel.* — Chelsea Green Publishing, 2012. 224 p.
408. Sankula S., Marmon G., Blumenthal E. *Biotechnology-derived crops planted in 2004: impacts on US agriculture.* Washington DC: National Center for Food and Agricultural Policy, 2005. 101 p. http://ucbiotech.org/biotech_info/PDFs/Sankula_2005_BiotechnologyDerivedCropsPlantedin2004.pdf
409. Settle J.E. et al. Friendships Moderate an Association between a Dopamine Gene Variant and Political Ideology / J.E. Settle, C.T. Dawes, N.A. Christakis, J.H. Fowler // *The Journal of Politics*, 2010; Vol. 72 No 4, P. 1189–1198.
410. Shamay-Tsoory S.G. The Neural Bases for Empathy // *The Neuroscientist.* 2011. Vol. 17, No 1. P. 18–24.
411. Simiotopolou K., Xiritiris N.I. The Human Genome Project. The Dominance of Economy on Science-Ethical and Social Implication // *Global Bioethics.* 2000. Vol. 13. No. 3–4. P. 43–52.
412. Simpkins J.W. et al. Atrazine and Breast Cancer: A Framework Assessment of the Toxicological and Epidemiological Evidence // *Toxicological Sciences.* 2011. Vol. 123. No. 2. P. 441–459
413. Simpson J.L., Carson S.A. Preimplantation genetic diagnosis // *N Engl J Med.* 1992. Vol. 327. P. 951–953.
414. Smith J.D., Nelson K.R. *The Sterilization of Curry Buck.* Far Hills, N. J.: New Horizon, 1989. 268 p.
415. Séralini G-E., Clair E., Mesnage R., Gress S., Defarge N., Malatesta M., Hennequin D., de Vendômois J.S. Long term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant genetically modified maize// *Food Chem. Toxicol.* (2012), <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2012.08.005>
416. Steinhäuser K.G. Environmental risks of chemicals and genetically modified organisms: a comparison. Part I: Classification and 126 characterisation of risks posed by chemicals and GMOs // *Environ Sci Pollut Res Int.* 2001. No. 8(2).

417. *Story M. et al.* Creating healthy food and eating environments: policy and environmental approaches / Story, M., Kaphingst, K. M., Robinson-O'Brien, R., & Glanz, K. // *Annu. Rev. Public Health.* 2008. Vol. 29. P. 253–272.
418. *Szente M.* Human Genome Project and Neuroscience // *Global Bioethics.* 2000. Vol. 13. No. 3–4. P. 21–28.
419. *Suzuki H, Mohr U, Kimmerle G.* Spontaneous endocrine tumors in Sprague-Dawley rats // *J Cancer Res Clin Oncol.* 1979. Vol. 95. No. 2. P. 187–196.
420. *Tilman D., Fargione J., Wolff B., D'Antonio C., Dobson A., et al.* Forecasting agriculturally driven global environmental change // *Science.* 2001. Vol. 292. P. 281–284.
421. *Tilman D., Lehman C.* Human-caused environmental change: Impacts on plant diversity and evolution // *PNAS.* 2001. Vol. 98. No. 10. P. 5433–5440.
422. *Tilman D., Cassman K.G., Matson P.A., Naylor R., Polasky S.* Agricultural sustainability and intensive production practices // *Nature.* 2002. Vol. 418. No. 6898. P. 671–677.
423. The evolution of error: error management, cognitive constraints, and adaptive decision-making biases / D.D.P. Johnson D.T. Blumstein J.H. Fowler M.G., Haselton // *Trends in Ecology and Evolution.* 2013. Vol. 28. No. 8. P. 474–481.
424. *The Role of Biotechnology in a Sustainable Food Supply.* Cambridge; N.Y.: Cambridge univ. Press, 2012. 258 p.
425. *Thompson B., Harrub B.* Human cloning and stem-cell research sciences slippery slope // *Reason and Relevation.* 2001. No. 8, 9, 10.
426. *Toffler A.* *Future Shock.* N.Y.: Bentam, 1970. 562 p.
427. *Tooby J., DeVore I.* The reconstruction of hominid behavioral evolution through strategic modelling // *The evolution of human behavior: primate models.* Ed. W.G. Kinzey, N.Y.: SUNY Press, 1987. P. 183–227.
428. US Supreme Court. *Buck versus Bell* // *US Supreme Court Reporter.* 1927. Vol. 47. P. 584–585.
429. *Valuating environmental impacts of genetically modified crops — ecological and ethical criteria for regulatory decision-making / Olivier Sanvido, Andreas Bachmann, J. Romeis, Klaus Peter Rippe, Franz Bigler* Zurich: VDF, 2013. 192 p.
430. *Valuing myself over others: The Dark Triad traits and moral and social values / P.K. Jonason, G.L. Strosser, Ch.H. Kroll, J.J. Duineveld, Sh.A. Baruffi* // *Personality and Individual Differences.* 2015. Vol. 81. P. 102–106.
431. *Velcev M.* *Genetically Enhanced Plants and Their Safety* // Перший нац. Конгрес з біоетики, 17–20 вересня 2001 р.: Тези доп. Київ, 2001. С. 60.
432. *Velkov V.V.* Environmental genetic engineering: hope or hazard?. *Current Science.* 1996. Vol. 70. No 9. P. 823–832.
433. *Venter, J. Craig.* *A Life Decoded: My Genome: My Life,* N.Y.: 2007. 420 p.
434. *Verlinsky Y., Kuliev A.* *Preimplantation Diagnosis of Genetic Diseases.* Wiley-Liss, 1993.
435. *Watson J.D., Crick F.H.* «Molecular Structure of Nucleic Acids: A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid». 1953. *Nature* Vol. 171, No 4356: p. 737–738.

-
436. War, space, and the evolution of Old World complex societies / P. Turchin, Th. E. Currieb, E. A.L. Turner, S. Gavriltsd // Proc. Nat. Acad. Sci. 2013. Vol. 110. No. 41. P. 16384–16389.
437. *Williams E.D.* A call for Global Bioethics // Практична філософія. 2004. № 1. С. 16–24.
438. *Wilson D.S., Wilson E.O.* Rethinking the Theoretical Foundation of Sociobiology // The Quarterly Review of Biology. 2007. Vol. 82. No. 4. P. 327–348.
439. *Wilson D.S.* Darwin's Cathedral: Evolution, Religion, and the Nature of Society Chicago: The University of Chicago Press, 2002. 280 p.
440. *Wilson S.S. et al.* Defensins at the Mucosal Surface: Latest Insights into Defensin-Virus Interactions // Journal of virology. 2016. Т. 90. № 11. С. 5216–5218.
441. *Wisser R.J., Sun O., Hulbert S.H., Kresovich S., Nelson R.J.* Identification and Characterization of Regions of the Rice Genome Associated With Broad-Spectrum, Quantitative Disease Resistance // Genetics. 2005. Vol. 169. P. 2277–2293.
442. <http://www.ecolife.ru/jornal/econ/2001-4-1.shtml>
443. <http://n-t.ru/nl/mf/>
444. <http://www.studfiles.ru/preview/1150606/page:2/>
445. <http://www.genecopoeia.com/>
446. <http://www.origene.com/>
447. <http://www.mirbase.org/>

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Часть I	
ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЯЕМОЙ ЭВОЛЮЦИИ — СТРАТЕГИЯ ВЫЖИВАНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ГЕНЕТИКИ И БИОТЕХНОЛОГИИ	
Введение.....	14
Наука и технология в истории человечества.....	14
Хроника генетики, истории	23
Составляющие компоненты успеха.....	48
Геномное редактирование — эволюция, управляемая человеком.....	55
ДНК-технологии.....	109
Методология прикладного использования ДНК-технологий	116
Новый взгляд на эволюцию. «Генетическая инженерия» в природных экосистемах.....	120
Проблема голода и генные технологии — есть ли альтернатива?.....	124
«Зеленая революция».....	128
Сокращение урожая и сценарии возможного решения продовольственной проблемы.....	137
Прикладные ДНК-технологии.	
Достижения и перспективы.....	139
Усовершенствование качественных характеристик продукции растениеводства	143
<i>Продукты «здорового образа жизни» («healthy food products»)</i>	146
<i>Основные направления коммерческого использования генетически модифицированных растений.....</i>	147
<i>ГМО-растения, устойчивые к насекомым-вредителям</i>	148
<i>ГМО — гербицид-устойчивые растения.....</i>	151
<i>ГМО-растения, устойчивые к болезням.....</i>	154
<i>Устойчивость к вирусам и вириодам.....</i>	157

<i>Активизация защитных систем организма</i>	159
<i>Устойчивость к абиотическим факторам</i>	160
ГМО-растения с заданным химическим составом и структурой молекул (аминокислоты, белки, углеводы)	161
<i>ГМО-растения — продуценты фармакологических препаратов</i>	164
Генные технологии в борьбе с загрязнением окружающей среды. Фиторемедиация	165
Использование ДНК-технологий для разработки вакцин	166
ГМО для улучшения сохранности и качества плодов и овощей	170
<i>Биореакторы</i>	171
<i>Основные направления коммерческого использования генетически модифицированных животных</i>	172
<i>Трансплантация эмбрионов</i>	173
Клонирование	174
<i>Трансгенные животные</i>	182
Генетически модифицированные организмы как источник риска.	
Тревоги обоснованные и мнимые	187
Опасность применения пестицидов	194
Возможная опасность ГМО и их научная проверка	196
«Движение сопротивления». «Биотехнологический протокол» так и не был подписан	206
Биосоциальная природа человека.	
Эра самоконструирования <i>Homo sapiens</i>	209
Генетическая основа поведения	214
Генетические основы познавательных способностей и интеллекта	224
<i>Гены и сексуальность</i>	227
Биоэтика и евгеническое движение	234
<i>Генотерапия</i>	238
Человек как объект технологических манипуляций. Философский и этический аспекты	241
Человек как объект технологических манипуляций. Практический аспект	247
Биотехнологическое использование эмбриональных и стволовых клеток человека	252
Биополитика. Социальный и юридический контроль развития и использования биотехнологии человека	259
Расшифровка генома человека и генетическая дискриминация	268
Новая евгеника?	270
Демографическая ситуация, продолжительность жизни и эволюция культуры	277

Перспективы человека. Устоим ли мы?	297
Феномика	315
ДНК-технологии в создании новых организмов	317
Трансгенные растения с общей устойчивостью к болезням.....	319
Геномика	321
Секвенирование ДНК.....	322
Способность местных сортов к адаптации.....	324
Социально-экологические аспекты развития генетической инженерии.....	326
Геномная селекция	334
Генофонд человечества.....	350

Часть II

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В «ОБЩЕСТВЕ РИСКА» С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ФИЛОСОФИИ

Введение. Техногенная цивилизация, «общество риска» и феномен «опасного знания».....	355
Биовласть и биополитика	379
Постановка проблемы: научное знание как фактор риска.....	411
Феноменология и онтология «опасного знания»	413
Социоэкономические и социополитические последствия трансформации науки в «опасное знание»	416
Гипотеза «скользящего склона».....	419
Генетика и генные технологии как «опасное знание».	
Социологический анализ	426
Экспертные оценки перспектив и риска развития генетических технологий. Текстологический анализ	427
Образ генетики и генетической инженерии в массовом сознании. Результаты контент-анализа интернет-ресурсов.....	433
Интеграция генных технологий в жизнь современной цивилизации. «Комедия генетики и нравов».....	444
«Случай Мариссы Айалы».....	449
Анемия Фанкони.....	449
Бета-талассемия	450
Кистодный фиброз (муковисцидоз).....	452
Болезнь Альцгеймера.....	452
«Демон Джеймса Уотсона». Биополитические и биоэтические дилеммы репродуктивных технологий	454

«Опасное знание» с точки зрения глобально-эволюционной парадигмы	463
Методология глобального эволюционизма	464
Десинхронизация биологической и социокультурной эволюции в антропогенезе	470
Эволюционная природа феномена «опасного знания»	481
Заключение	490
Эволюционный риск и эволюционная стратегия.....	490
Концептуально-терминологический аппарат теории стабильной адаптивной стратегии человека.....	491
Генезис стабильной адаптивной стратегии <i>Homo sapiens</i>	495
Генно-культурная коэволюция и техногуманитарный баланс	499
Эволюция структуры стабильной адаптивной стратегии <i>Homo sapiens</i> и ее особенности.....	505
Биоэтика как социокультурная адаптация: управление эволюционным риском технологического комплекса <i>High Hume</i>	516
Информационный и семантический компоненты организации стабильной эволюционной стратегии <i>Homo sapiens</i>	524
Коэволюционная семантика эволюционного риска.....	527
Список основной использованной литературы	534

Научное издание

*Валерий Иванович Глазко
Валентин Федорович Чешко
Лида Владимировна Иваницкая
Владимир Федорович Сторчевой*

**ВЕК ГЕНЕТИКИ
И ВЕК БИОТЕХНОЛОГИИ
НА ПУТИ К РЕДАКТИРОВАНИЮ
ГЕНОМА ЧЕЛОВЕКА**

Монография

Оригинал-макет подготовлен в Издательстве «КУРС»

Подписано в печать 01.07.2016.
Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Гарнитура WarnockPro.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 35,0.
Тираж 500 экз. Заказ № 8666.

ТК 444900-522289-010716



ООО Издательство «КУРС»
127273, Москва, ул. Олонская, д. 17А, офис 104.
Тел.: (499) 709-16-28.
E-mail: kursizdat@gmail.com