

Глава 9. Биотехнологии и создание самоуправляемых биологических систем

Определения и периодизация. Биотехнологии сегодня используются очень широко: в сельском хозяйстве, различных отраслях промышленности, например пищевой, при создании препаратов и продуктов для бытового использования, лекарственных и других медицинских средств, в исследовании человеческого генома и процесса репродукции, в защите окружающей среды от загрязнения и т. д.

Биотехнология – понятие широкое, его толкование менялось с течением времени. Так, до 1970-х гг. термин «биотехнология» использовался большей частью для описания некоторых технологических процессов в пищевой промышленности и сельском хозяйстве. После начала использования в лабораториях рекомбинантной ДНК и культур клеток, выращиваемых *in vitro*, биотехнологию стали отождествлять с генной инженерией, в настоящее время два этих понятия часто используются как синонимы. Сейчас известно несколько десятков разных определений биотехнологии (см., например: Блинов 2003). Иногда биотехнологию понимают как совокупность научно-промышленных методов, использующих живые организмы и биологические процессы для производства различных продуктов. Существуют и официальные международные определения, например: «Биотехнология представляет собой комплексную область деятельности, в которой новые методы современной биотехнологии соединены с устоявшейся практикой традиционных биотехнических мероприятий. Основу этой растущей наукоемкой отрасли составляет комплекс методов, дающих человеку возможность целенаправленно изменять структуру дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), или генетического материала, растений, животных и микроорганизмов с выходом на получение полезных продуктов и технологий» (ООН 1992: гл. 16). Это одна из наиболее активно исследуемых областей, ей уже прочат блестящее будущее и многие отводят место отрасли, которая станет прорывной в ближайшее время, говоря о грядущей биотехнологической революции (Avisé 2004; Das 2007; Harris 2010; Holdrege 2010; McCabe L., McCabe E. 2008; Phillips, Su 2009)¹. Однако, как помнит читатель, мы считаем, что при первичном прорыве в завершающей фазе кибернетической революции биотехнологии будут играть свою роль прежде всего в качестве важной части комплекса, направленного на лечение, то есть главной все-таки будет роль медицины.

Выделяют следующие периоды развития биотехнологии:

- 1) до 1917 г. – период «традиционного» микробиологического производства;
- 2) с 1917 до 1973 г. – период создания научных предпосылок для современной биотехнологии (Глик, Пастернак 2002). Он дополнительно делится на две

¹ Добавим, нередко наряду с нанотехнологиями. В *Главе 7* мы уже говорили об идее NBIC-конвергенции, то есть конвергенции нано-, био-, информационных и когнитивных технологий, которую ряд исследователей (см.: Lynch 2004; Bainbridge, Roco 2005; Dator 2006; Ковальчук 2011; Акаев 2012) также рассматривает как основу будущего шестого технологического уклада (о нем см. *Приложение 2*).

части: с 1917 по 1940 г. – это в своем роде «инкубационный» подпериод, когда биотехнологии уже активно использовались, но в целом не играли значительной роли в промышленности и экономике; с 1940 по 1970-е гг. – биотехнология становится уже заметной отраслью промышленности;

3) с 1970-х гг. по настоящее время – период современной биотехнологии, внедрение научных разработок в биотехнологическое производство².

Такая периодизация хорошо укладывается в нашу концепцию кибернетической революции. Фактически начиная с 1940-х и до 1970-х гг. можно говорить о быстром развитии биотехнологий как части общего процесса научно-информационной фазы кибернетической революции. Но наиболее мощно они стали развиваться уже с 1970-х гг. на собственной базе кибернетической революции.

9.1. BIOTECHNOLOGY ДО НАЧАЛА КИБЕРНЕТИЧЕСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ

Несмотря на то что биотехнология – достаточно новая отрасль, период «традиционного» микробиологического производства берет свое начало еще в каменном веке: дрожжевой хлеб, йогурт, пиво, вино, уксус используются с древнейших времен. Первые научные предпосылки биотехнологии заложил Л. Пастер, открывший природу брожения. В конце XIX – начале XX в. активно накапливались знания о микробиологии, которые все больше находили применение на практике. В 1917 г. венгерский инженер К. Эреке ввел термин «биотехнология».

Как и многие другие инновационные отрасли, биотехнология зародилась еще на последних этапах промышленного принципа производства. В конце XIX – начале XX в. стали выпускать биоудобрения и биологические препараты для борьбы с сельскохозяйственными болезнями и вредителями, начались промышленные испытания биотехнологических процессов переработки и использования растительных отходов (Волова 1999). Налаживалось производство с помощью микроорганизмов ацетона, бутанола, антибиотиков, органических кислот, витаминов, кормовых белков и т. д. (Егорова, Самуилова 1987).

1930–1940-е гг. ознаменовались предпосылками для перехода к кибернетической революции. В это время начинается промышленное производство некоторых витаминов, например витамина С. Зарождается производство препаратов, полученных биотехнологическими методами. Первым массовым биотехнологи-

² В целом похожую периодизацию дают и другие исследователи. Например, на 3-м съезде Европейской ассоциации биотехнологов (Мюнхен, 1984 г.) голландский ученый Е. Хаувинк разделил историю биотехнологии на 5 периодов, или эр:

- **Допапастеровская эра (1865 г.).** Использование спиртового и молочнокислого брожения при получении пива, вина, хлебопекарных и пивных дрожжей, сыра; получение ферментированных (квашеных) продуктов и уксуса.
- **Послепапастеровская эра (1856–1940 гг.).** Производство этанола, бутанола, ацетона, глицерола, органических кислот и вакцин; аэробная очистка сточных вод; производство кормовых дрожжей на углеводах.
- **Эра антибиотиков (1941–1960 гг.).** Производство пенициллина и других антибиотиков путем глубокой ферментации; культивирование растительных клеток и получение вирусных вакцин; микробиологическая трансформация стероидов.
- **Эра управляемого биосинтеза (1961–1975 гг.).** Производство аминокислот с помощью микробных мутантов; получение чистых ферментов; промышленное использование иммобилизованных ферментов; анаэробная очистка сточных вод и получение биогаза; производство бактериальных полисахаридов.
- **Эра новой биотехнологии (после 1975 г.).** Использование генной и клеточной инженерии в целях получения агентов биосинтеза. Получение гибридов, моноклональных антител, гибридов из протопластов и меристемных культур, микроорганизмов с катаболическими плазмидами.

ческим производством считается получение пенициллина, которое было запущено в 1943 г. Мировая война выявила острую необходимость в налаживании массового производства дешевых лекарств, пищевых продуктов и витаминов.

9.2. НАЧАЛЬНАЯ ФАЗА КИБЕРНЕТИЧЕСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ

9.2.1. Становление биотехнологии как крупной отрасли промышленности

Напомним, 1950-е гг. являются началом кибернетической революции (ее научно-информационной фазы), когда *получает системное выражение целый ряд тенденций, которые являлись несистемными по отношению к предшествующему принципу производства*. В этот период биотехнология окончательно становится промышленным сектором, быстро растущим и оказывающим влияние на всю экономику. Продукты биотехнологии применялись очень широко³. В первые десятилетия после Второй мировой войны было организовано крупномасштабное производство аминокислот, кормового белка одноклеточных (из нефти и отходов целлюлозно-бумажной промышленности), освоено культивирование клеток животных и растений. Уже с конца 1940-х гг. началась организация массового производства антибиотиков. Они нашли широкое применение не только в медицине, но и в сельском хозяйстве для лечения животных и растений, в качестве биодобавок в корма. С помощью мутаций были созданы высокоэффективные формы антибиотиков. Клетки микроорганизмов стали широко использоваться для получения лекарственных веществ стероидной природы⁴, были организованы крупные производства вакцин (Волова 1999). Производство лекарственных препаратов стало успешным, а также очень прибыльным направлением (Тейлор и др. 2004), поэтому в данную отрасль устремились капиталы и научные силы. Количество медикаментов, полученных биотехнологическим методом, или так называемой «красной» биотехнологией, начало неуклонно расти. Биотехнология стала мощным подспорьем сельскому хозяйству, с помощью ее методов стали производить многие органические соединения, корма, добавки, витамины, аминокислоты, гормоны, осуществлять защиту от вредителей⁵. С ее помощью также получают биоудобрения, органические кислоты, альтернативные источники энергии, утилизируют биологические отходы. Промышленное биотехнологическое производство стало возможным еще и за счет высокой степени автоматизации процессов. Автоматизация, как мы уже говорили ранее, –

³ Вот цитата из книги одного из менеджеров очень известной компании «Ф. Хоффман-Ля Рош Лтд.» о ее деятельности в начале 1960-х гг. Они продавали тонны химикалий и витаминов «клиентам фирмы для изготовления таблеток, поставляли тонны витаминов А, Д и Е, которые шли в качестве добавок в муку и маргарины, витамин С – в прохладительные напитки, пиво и вино (для стабилизации) или в консервированное и свежее мясо. Большинство витаминов шло в корм для скота (производство добавок в корма, особенно для интенсивного животноводства, было самой важной областью деятельности компании)». Кроме того, с конца 1950-х гг. компания производила крупные партии транквилизаторов либриума и валиума (Адамс 1986: 33, 60).

⁴ Стероиды – вещества животного, реже растительного происхождения, обладающие высокой биологической активностью. При трансформации стероидов с помощью микроорганизмов получают нужные продукты, в том числе гормоны.

⁵ Биотехнологии повышали возможности селекции, что вместе с другими передовыми сельскохозяйственными технологиями способствовало совершению так называемой «зеленой революции» 1940–1970-х гг., которая привела к быстрому росту урожайности зерновых в ряде развивающихся стран, таких как Мексика, Индия, Пакистан и др. О «зеленой революции» мы говорили в *Главе 5*.

одна из ключевых характеристик кибернетической революции в ее начальной фазе.

9.2.2. Биотехнология и геновая инженерия. Фундаментальные открытия в области биотехнологий

Как уже говорилось, геновую инженерию часто отождествляют с биотехнологией, хотя последнее является более общим понятием и включает в себя различные методы воздействия на организмы с целью получения полезных свойств и продуктов. Однако геновая инженерия стала настолько важной, что необходимо выделять ее в отдельное направление. Генетическая эра началась с 1953 г., когда Дж. Уотсон и Ф. Крик определили структуру молекулы ДНК. Это заложило основу понимания роли генетической информации и принципиальной возможности направленного переноса генов из одного организма в другой. Изменение наследственной информации открыло колоссальные перспективы, пожалуй, превосходящие самые смелые фантазии вроде тех, что явил миру Герберт Уэллс в своем романе «Остров доктора Моро». Далее открытия в области генома сыпались как из рога изобилия⁶. Но естественно, что от открытий до промышленного использования должны были пройти десятилетия.

1970–1990-е гг. (завершение начальной и переход к средней фазе кибернетической революции) также ознаменовались целой волной открытий в области молекулярной биологии.

Был открыт способ «разбора» ДНК и РНК на составляющие части (нуклеотиды) и сбор их определенным методом в нужной последовательности. Так стали получать рекомбинантные ДНК с любой необходимой последовательностью генов. За это выдающееся открытие ученым П. Бергу, У. Гилберту и Ф. Сенгеру в 1980 г. была присвоена Нобелевская премия. Уже в 1978 г. был получен рекомбинантный инсулин (один из первооткрывателей рекомбинантной ДНК Ф. Сенгер еще в 1958 г. был удостоен Нобелевской премии за открытие структуры инсулина).

В 1983 г. был открыт элегантный метод переноса ДНК из одного организма в другой. Прием позаимствовали у природы. Оказалось, что некоторые почвенные бактерии имеют особую генетическую структуру – плазмиду. Плазида по своей сути является вирусом, который в процессе эволюционного симбиоза прижился в бактерии. Бактерия при контакте с растением выпускает вирус, который встраивается в ДНК растения и программирует жертву «добровольно» вырабатывать нужные для бактерии вещества. Плазмиду ученые стали использовать как транспортное средство, куда помещают нужные гены и «отправляют» их встраиваться в генетический код организма.

В 1983 г. был открыт метод полимеразной цепной реакции (за что ее открыватель Кэри Муллис в 1993 г. получил Нобелевскую премию). Метод позволил получать большое количество ДНК и РНК нужных размеров и последовательности. Это наряду с умением переносить гены и встраивать их в любой организм открыло уникальные возможности для геновой инженерии.

⁶ Достаточно взглянуть на номинантов Нобелевской премии, чтобы оценить наиболее востребованную область науки того времени. Так, в 1958 г. Дж. Бидл и Э. Тейтем удостоились премии за открытия, касающиеся роли генов в специфических биохимических процессах, а Дж. Ледерберг – за открытия, касающиеся генетической рекомбинации и организации генетического материала у бактерий. В 1959 г. С. Очоа получил премию за открытие механизмов биологического синтеза рибонуклеиновой и дезоксирибонуклеиновой кислот.

Схематично методы генной инженерии можно описать как вырезание участка ДНК с интересующим геном у одного организма и перенос его в другой организм. Обычно нужный ген встраивают с помощью специального вируса, который, как и все вирусы, попадая в чужеродную клетку, вклеивается в цепочку ДНК и активно самокопируется. Этим путем сегодня получают важнейшие вещества: белки, ферменты, лекарства и т. д. Генетическая инженерия дала возможность получения новых свойств и на уровне организма.

В результате указанных и ряда других открытий генетическая инженерия становится мощным направлением биотехнологии.

Качественно новый уровень развития биотехнологий с 1970-х гг. означал, что в рамках кибернетической революции они уже явно переросли потенции, заложенные еще промышленным принципом производства, и стали развиваться на новой основе. В последние десятилетия начальной фазы кибернетической революции (1970-е – начало 1990-х гг.) биотехнология стала уже довольно значимой промышленной отраслью, без которой не могли обойтись сельское хозяйство (как растениеводство, так и животноводство, включая ветеринарию), пищевая и химическая промышленность, фармацевтика и медицина. В 1990-е гг. активно заговорили о биотехнологической революции (которая, конечно, является составной частью кибернетической революции). Книга Ф. Фукуямы (Fukuyama 2002) в этом плане стала важным обобщением данных идей.

9.3. БИОТЕХНОЛОГИЯ В МОДЕРНИЗАЦИОННОЙ ФАЗЕ КИБЕРНЕТИЧЕСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ

Автоматизация, информатизация и другие успехи. 1990–2000-е гг. ознаменовались весьма серьезными успехами для биотехнологии как отрасли промышленности⁷. Уже в 1970-е гг. ЭВМ находят применение в автоматизации биотехнологического производства. Очень быстро ЭВМ перестали выполнять вспомогательную роль, став основой автоматизации (Зудин и др. 1987). С помощью микропроцессоров было сконструировано множество приборов для биотехнологии, особенно для работы с ДНК. В связи с мощным развитием ИКТ, появлением удобных компьютеров и программ процессы автоматизации в биотехнологическом производстве и исследованиях на модернизационной фазе кибернетической революции достигли нового уровня как в области производства, так и в сфере научных исследований, в результате чего производительность, точность и т. п. параметры увеличились в значительной степени. В частности, фабрики по производству биотехнологической продукции со временем требовали все меньшего участия человека. При массовом производстве лекарств и сельскохозяйственной продукции это значительно удешевляет продукт, делая его более доступным.

Программное обеспечение для нужд генной инженерии стремительно совершенствуется, что является одним из многих примеров конвергенции направлений кибернетической революции⁸. Сегодня специалисты, не отходя от компь-

⁷ К примеру, рынок кормов для домашних питомцев, где также используются биотехнологии, ежегодно возрастает на 4–5 %, составляя только в Европе десятки миллиардов долларов (см., например: Бесланев 2006).

⁸ Развитие программного обеспечения также стремительно происходит и в других направлениях кибернетической революции: нанотехнологии, медицине и, конечно же, в информационных технологиях.

ютера, подбирают нужный ген, моделируя его встраивание и поведение при трансформации. Появились приборы для автоматического выделения, очистки ДНК и разделения на нужные фрагменты, переноса гена и т. д. Секвенаторы (приборы для разделения цепи нуклеиновых кислот на составляющие их нуклеотиды), раньше занимавшие внушительную часть лаборатории, стали выпускаться в виде USB-флеш-накопителя, что является также примером миниатюризации (Oxford... 2013).

Как уже было сказано выше (*Глава 8*), качественно важным стал прорыв в соединении микроэлектроники и биотехнологий, что позволило создать множество биосенсоров и биочипов (напомним, что последние, по сути, являются микролабораториями, позволяющими одновременно проводить сотни анализов). Очень интересно, что из информационных технологий были взяты некоторые способы нанесения информации на чип: одни осуществляются с помощью роботов наподобие того, как штампуются электронные чипы, другие – с помощью устройств вроде струйных принтеров. Это показывает, как происходит интеграция технологий на модернизационной фазе кибернетической революции.

Неудивительно, что в этот период укрепляются направления, связанные с генетической модификацией и клонированием, зародившиеся на предыдущей фазе. Клонировются организмы, с помощью генетических модификаций начинают лечить ряд болезней. Быстро росло производство генно-модифицированных продуктов (ГМО), о которых мы будем говорить далее.

Фармацевтика и фармакология. Объем производства лекарств и препаратов в мире неуклонно растет. Так, производство пенициллина с 1940-х гг. выросло в 2000 раз. Быстро растет также и фармацевтическая отрасль в целом. Только в США с 1950-х по 2000-е гг. число фирм, производящих лекарственные препараты, выросло более чем в 7 раз (Demire, Mazzucato 2008). Большинство развитых стран в настоящее время делают ставку на разработку лекарственных препаратов и вкладывают в них большие средства (Baker 2013). Огромные средства тратятся также на продвижение этой продукции. В США, например, фармацевтические компании ежегодно расходуют на эти цели около 20 млрд долларов (Moynihan 2003; Кондратьев 2011).

Все время с начала кибернетической революции фармакологическая отрасль росла очень быстро. Только за последние 15 лет доходы фармакологических компаний более чем удвоились (Revenue... 2015). Фармакологическая отрасль остается одной из самых прибыльных, с рентабельностью продаж на уровне 17 % (*Ibid.*). Соответственно быстро растет и потребление лекарств. По данным Всемирной организации здравоохранения, мировое производство медикаментов с 1985 по 1999 г. выросло в денежном соотношении в 4,5 раза – до 327 млрд долларов (WHO 2004). А к 2006 г. – еще вдвое, и общий объем мирового рынка лекарств оценивался к тому времени в 640 млрд долларов, из которых почти 50 % приходилось на США (Глумсков 2007: 9; Кондратьев 2011). В 2012 г. объем мирового фармацевтического рынка составил около 1 трлн долларов США (Щетко 2014), и с тех пор он продолжает расти. Только в России он в настоящее время составляет 25 млрд долларов, или 1,3 трлн рублей (Жулина 2015). В 2014 г., согласно данным американского Института информации в области здравоохранения, только лекарств от рака в мире продано на 100 млрд долларов. К 2018 г. оборот рынка этих лекарств

может достигнуть \$147 млрд (Объем... 2015). Правда, в прогнозах предполагается замедление роста фармацевтического рынка в ближайшие годы (Щетко 2014; Фармацевтическая промышленность... 2013), что объясняется проблемами, указанными ниже.

Однако динамика роста разных групп медикаментов существенно различается и имеет свои особенности. Например, очень быстро увеличивается производство так называемых дженериков, то есть лекарств, патентная защита на производство которых уже не действует (Глумсков 2007). Предполагается, что объем мирового рынка производства таких лекарств будет возрастать, как и его доля, которая превысит половину рынка (Щетко 2014). Быстрый рост объясняется тем, что на этот рынок активно выходят растущие экономики развивающихся стран, например Индии и Китая. Такой рост характерен именно для модернизационной фазы производственной революции, как и противоположная тенденция, описанная ниже. Правда, ведущие западные фармацевтические компании и действующие под их влиянием политики пытаются принудить развивающиеся страны сократить объем такого рода производства.

Наряду с производством лекарств, биодобавок к кормам и т. п. развился рынок биологически активных добавок (БАДов) для людей (и даже на этой почве бурно развивается новая, пограничная между наукой о питании и фармакологией область знаний, которую можно назвать фармаконутрициологией). В этом, несомненно, проявились успехи биоорганической химии и биотехнологии, позволившие получать в достаточно очищенном виде биологически и фармакологически активные компоненты практически из любого биосубстрата (микроорганизмов, растений, животных). Кроме того, благодаря новым технологиям удалось расшифровать механизм действия и особенности биотрансформации многих природных соединений в эффективные лекарственные формы. Отметим, правда, что здесь между биотехнологиями и реальной медициной существуют некоторые противоречия, поскольку медики относятся к БАДам амбивалентно, а нередко и достаточно враждебно.

ГМО и биотопливо. Объемы производства ГМО в продукции растениеводства быстро растут, оно стало уже весьма значимым сегментом сельского хозяйства. Рост цен на энергоносители привел к быстрому росту производства биотоплива, в том числе из ГМО-продуктов (однако падение цен на нефть и газ снижают потребность в биотопливе). Подробнее о генетически модифицированных продуктах, ставших едва ли не символом достижений и проблем биотехнологии, принципах их производства, борьбе вокруг них будет сказано ниже в отдельном параграфе.

С помощью биотехнологии получают относительно дешевые альтернативные источники энергии. Нельзя сказать, что биотопливо – это нечто новое в истории человечества, поскольку дрова, хворост и т. п. использовали с незапамятных времен. Но сейчас крайне важно, что это возобновляемый ресурс, объемы производства которого стали велики именно благодаря биотехнологиям. В настоящее время в мире его производят в объеме более 100 млн тонн (в основном в США, Европе и Бразилии). Биотопливо сегодня составляет 10 % от всей вырабатываемой энергии, однако, возможно, его применение вырастет более чем в 10 раз к 2035 г. Правда, большинство биомассы для биотоплива (80 %) получа-

ется из отходов леса (Kopetz 2013). Стремление для поддержания экологического баланса планеты сократить использование древесины может серьезно отразиться на данном источнике альтернативной энергии. Но в качестве биотоплива (например, для производства так называемых пеллет – небольших цилиндрических гранул, которые используются в промышленных и бытовых целях как топливо) активно используют и отходы сельского хозяйства и пищевой промышленности (например, на Украине производит около 1,4 млн тонн топливных пеллет на основе лузги подсолнечника).

Создание новых материалов и веществ. В 1940–1970-е гг. основным направлением было налаживание промышленного производства известных веществ (например, витаминов) или их аналогов, однако вместе с этим осуществлялось стремление создавать соединения, не существующие в природе. Примером таких веществ может послужить хумалог (Humalog) – широко применяемый синтетический аналог человеческого инсулина (Woollett 2012). Данная последовательность напоминает развитие химии: сначала люди научились производить известные вещества, а затем и искусственные материалы.

Биотехнология позволяет получать ранее неизвестные новые продукты. Например, растет производство биопластика. Главное достоинство этого материала в том, что в отличие от обычного пластика он может разлагаться, иными словами, входит в круговорот веществ в природе. Безусловно, это важный шаг на пути создания в будущем саморегулирующихся и самоочищающихся экологических систем. Таким образом, основная цель производства биопластика – сохранение экологии, уменьшение производства товаров из невозобновляемых ресурсов и сокращение выбросов диоксида водорода в окружающую среду. Ассортимент продукции, сделанной из биопластика, очень широк. В период с 2000 по 2008 г. мировое потребление биоразлагаемых пластиков на основе крахмала, сахара и целлюлозы увеличилось на 600 % (Ceresana Research 2011). В 2010 г. объем их производства составил 700 000 тонн (В 2011 году... 2011), сегодня он превышает 1 млн т (Ашпина 2014). Появляются технологии производства биопластика не из сахарозы, а из глицерина, что существенно сократит отходы при производстве самого биопластика (Предложена... 2014).

Рост биотехнологических компаний. С биотехнологией связано большое различных отраслей, в частности химическое производство (полисахариды, биодеградируемые полимеры, биокатализ, а также создание новых материалов, например биопластиков), энергетика, сельское хозяйство, городское хозяйство (например, в сфере переработки мусора), отрасли, связанные с длительным хранением продукции, медицина и фармакология, нанотехнологии, косметология, военная отрасль. Биотехнологии также активно входят в быт широких масс людей, применяющих биодобавки и витамины, использующих в диете специальные продукты, а также особого рода косметические продукты и т. д.

Поэтому неудивительно, что биотехнология становится быстрорастущим сектором, в который многие страны стали вкладывать значительные средства. Компания Ernst & Young, вот уже около 30 лет занимающаяся подробным анализом биотехнологического рынка, отметила, что с 2000 г. начался особенно резкий его подъем. С 2000 по 2005 г. мировые доходы в области биотехнологий удвоились и составили 50 млрд долларов. А в 2013 г. доходы в биотехнологиях

только в США, Европе, Канаде и Австралии составили около 100 млрд долларов (Giovanetti *et al.* 2013). С 2008 г. большинство инвестиций в биотехнологию стали относить к R&D, то есть к инновациям. Это означает, что отрасль имеет большой инновационный потенциал, который отмечается практически всеми исследователями. В настоящее время акции биотехнологических компаний являются одними из самых быстрорастущих в индексе высокотехнологичных компаний НАСДАК (NASDAQ; см., например: Анализ Gilead Sciences 2015). Капитализация Nasdaq Biotech Index на март 2015 г. составляла более 1 трлн долларов⁹. Правда, рост ряда таких компаний может оказаться «пузырем», но очень вероятное схлопывание такого «пузыря» пойдет отрасли только на пользу (как это случилось с интернет-компаниями во время возникновения «пузыря» интернет-технологий в 2000 г.).

9.4. ПРОТИВОРЕЧИЯ РАЗВИТИЯ ДО НАЧАЛА ЗАВЕРШАЮЩЕЙ ФАЗЫ КИБЕРНЕТИЧЕСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ (2010–2020/2030-е гг.)

9.4.1. Генетически модифицированные продукты и сложности адаптации ряда биотехнологических инноваций в обществе

Перспективы биотехнологии весьма значительны. Поскольку она тесно связана с микробиологией, а микроорганизмы присутствуют везде, то даже в этом отношении сфера применения биотехнологии будет безгранична (от космических нужд до добычи и переработки полезных ископаемых). Как уже сказано, в настоящее время биотехнология стала существенной частью технологии многих отраслей, а в пищевой промышленности практически нет направлений, в которых бы она не применялась. При этом возможности создания самых разных модификаций продуктов, варибельность композиции их пищевых свойств, состава, степени натуральности и т. п. стали практически безграничными. Этим часто пользуются недобросовестные производители. Не исключено, что в будущем в свободную продажу поступят приборы, способные измерить степень натуральности, экологичность продуктов, содержание в них ГМО и т. п.

Биотехнологии теснейшим образом связаны с медициной и нанотехнологиями, они станут одним из главных фронтов, где развернутся завершающая фаза кибернетической революции и последующие эпохи (2030–2070-е гг.). Однако даже в ближайшие полтора-два десятилетия до начала кибернетической революции можно ожидать не только существенных успехов на фронте биотехнологий, но и нового накала общественной борьбы, а также ожесточенной конкуренции между различными силами. Это связано с двумя важнейшими тенденциями, характерными для модернизационной фазы производственной революции: 1) мощным распространением новых технологий с одновременным их усовершенствованием; 2) усилением противостояния общества в отношении многих

⁹ Капитализация, подчеркнем, огромная. И то, что она превышает капитализацию других инновационных направлений, кроме компьютерного, подтверждается фактом, что на бирже НАСДАК существуют только три специализированных рынка: Nasdaq Biotechnology Index – для медицинских и фармацевтических компаний; Nasdaq Computer Index – для компаний, разрабатывающих программное и аппаратное обеспечение для компьютеров; Nasdaq Telecommunications Index – для телекоммуникационных компаний. Все остальные входят в сводный индекс Nasdaq Industrial Index – для промышленных компаний.

изменений. Для того чтобы началась завершающая фаза производственной революции, развитие технологий на модернизационной фазе должно достичь очень большого разнообразия и «плотности». А с учетом того, что биотехнологии – это инновационные отрасли, любые страны, которые хотят вырваться вперед, будут обязаны так или иначе их развивать. Следовательно, с одной стороны, мы будем наблюдать в ближайшие 15–20 лет весьма широкое вторжение биотехнологий в нашу жизнь, с другой – такое наступление, несомненно, усилит общественную, дипломатическую и экономическую борьбу против изменения традиций, национальных особенностей, реального или мнимого вреда и т. п. Такое движение против клонирования, ГМО, компьютерной селекции и т. п. уже имело и имеет место в разных странах. Рассмотрим это более подробно на примере ГМО (о клонировании мы еще будем говорить подробнее).

Генетически модифицированные организмы (ГМО) позволили существенно снизить затраты, повысить урожайность, сэкономить на отказе от долгой селекции. С помощью генетической модификации получают растения, устойчивые к вредителям, например картофель – к колорадскому жуку, снижают восприимчивость к засухе, холоду и другим природным стрессам. Один из самых распространенных и обсуждаемых методов генетической трансформации – перенос в растение гена устойчивости к химическому гербициду Roundup (Williams *et al.* 2000; Richard *et al.* 2005). В результате при обработке Roundup генетически модифицированные сельскохозяйственные растения остаются невредимыми, а сорняки погибают. Генетически модифицированные организмы обычно дешевле по стоимости и в производстве. Анализ мирового экономического эффекта использования биотехнологических культур показывает рост доходности благодаря двум источникам. Во-первых, это сокращение производственных затрат (до 50 %) и стабилизация или сокращение сельскохозяйственных площадей. Во-вторых, значительная прибавка урожая (теоретически в случае снятия запретов на распространение ГМО потенциально мировой ВВП мог бы вырасти на 200 млрд долларов США [см.: Камионская 2011]). Однако недоверие и подозрительность в отношении ГМО-продуктов широко распространены в обществе (как в плане опасений употребления их в пищу, так и в плане экологического загрязнения). В то же время пока сложно сказать, насколько они обоснованы, поскольку нет точных данных ни об их вреде, ни о безвредности.

Однако следующая история может показать, насколько далеко готовы зайти стороны в борьбе за свои интересы. Некоторое время назад французский профессор Жиль-Эрик Сералини заявил, что в ходе научных экспериментов кормление крыс продуктами ГМО вызывало у них серьезные проблемы со здоровьем, в том числе опухоли. Неясно, насколько обоснованы были такие выводы (хотя у Сералини теперь появились сторонники). Но важно, что первоначальные выводы проведенного Сералини исследования продуктов ГМО были скрыты от научной общественности в результате серьезных PR-атак со стороны Monsanto и всей биотехнологической индустрии, которые даже включали появление новой штатной должности в журнале *Food and Toxicology* – младшего редактора по биотехнологиям. Характерно, что эту вакансию сразу же занял бывший сотрудник Monsanto, который помог убедить редакцию не публиковать выводы этого исследования. Однако Сералини подал в суд иск о клевете и выиграл его в конце

2015 г. Верховный суд Парижа 25 ноября 2015 г. предъявил обвинение бывшему председателю Комиссии биомолекулярных исследований Франции Марку Фаллоусу в «подделке документов» и «использовании фальсификации». При этом не было опубликовано никаких подробностей. Но согласно информации с веб-сайта Сералини, Фаллоус использовал или копировал подпись ученого без его согласия, пытаясь доказать, что группа исследователей под руководством Сералини получила неверные результаты в своих исследованиях ГМО-продуктов компании Monsanto, в том числе генно-модифицированной кукурузы. Это стало второй судебной победой команды профессора после выигрыша в суде 6 ноября дела по иску о клевете к французскому журналу *Magianne*, опубликовавшему статью, в которой исследования Сералини названы «научным мошенничеством». Понятно, что такого рода научные замалчивания, попытки цензурирования со стороны биотехнологических корпораций и должностные подлоги не могут не вызывать подозрений у противников ГМО (Ученый, обнаруживший... 2015; развернутую критику экспериментов Сералини см.: Панчин 2016: гл. 7).

Поэтому неудивительно, что ГМО имеет большое число противников. Многие страны запрещают или ограничивают их производство и распространение, делают обязательной маркировку. В европейских странах уже в 1990-х гг. были приняты директивы, которые фактически предполагали оценку новых продуктов биотехнологии на основе «принципа осторожности», который фактически устанавливает «презумпцию виновности» для продуктов, пока не будет доказана их невиновность в потенциальной угрозе для окружающей среды или общественного здоровья (см.: Фукуяма 2004). В настоящее время, когда ведутся активные переговоры по поводу Трансатлантического торгового и инвестиционного партнерства между США и Евросоюзом (ТТИР), проблема ГМО (когда американские ГМО-продукты хлынут в Европу) является одной из самых сложно решаемых.

Платформой для трансгенных манипуляций стало открытие удивительного сходства генома практически всех живых существ. Соответственно термин ГМО, пугающий большое количество людей, практически стал синонимом трансгенов. Однако заметим, что трансгеноз – только один из многих методов изменения генетического состава организмов (о методах трансгеноза у животных и растений см., например: Патрушев 2000: гл. 10). Другие, такие как гибридизация, полиплоидия и т. п., применяются издавна, начиная с аграрной революции (см., например: Борлоуг 2001). В последние десятилетия они дали миру множество высококачественных сельскохозяйственных сортов. Продукты таких растений тоже, естественно, являются генно-модифицированными и часто из-за недостаточной компетенции чиновников попадают под несправедливые запреты.

Связанные с ГМО проблемы, реальные и мнимые, требуют особого рассмотрения. Однако понятно, почему многие развивающиеся страны переходят к их интенсивному выращиванию, не дожидаясь результатов долгих исследований. Эти проблемы в сравнении с проблемой голода или недоедания кажутся им менее важными. К тому же выращивание ГМО дает большие возможности для бизнеса, занимающегося их производством. В результате начиная с 2010 г. развивающиеся страны уже обогнали развитые по сумме территорий, занятых под выращивание ГМО-культур (Clive 2011). Генетически модифицированные растения сегодня выращивают на 175 млн гектаров по всему миру, что составляет 13 % всех возделываемых площадей (Маршан 2015). Несомненно, данное про-

изводство будет расти, поскольку это один из важных способов решения продовольственной проблемы. Биотехнологическое производство дает более дешевый пищевой продукт, повышает урожайность в местах, ранее непригодных для возделывания сельскохозяйственных культур. Получение новых признаков у сельскохозяйственных животных и растений значительно экономит время и затраты на долгую селекцию. Возможности генетически модифицированных животных и рыб велики, но они же вызывают и соответствующие опасения (об этом см., например: Маршан 2015).

Обязательно надо отметить, что такие опасения в обществе – это вполне естественно, нормально и во многом полезно, хотя бывает, что консерватизм подавляет прогресс. Именно в рамках этой борьбы, подобного рода коллизий могут появиться важные в перспективе решения, которые не только будут способствовать достижению какого-либо баланса, но и дадут импульс для развития (вспомним, что запрет импорта хлопчатобумажных тканей в Англию послужил спусковым крючком для развития ее собственной хлопчатобумажной промышленности, ставшей колыбелью промышленного переворота). Именно в таком противостоянии, как мы увидим ниже, сегодня развиваются компании по производству лекарств, но вполне возможно, что в ближайшие пять – пятнадцать лет наметится более заметный тренд к персонализации лекарств и медицинских процедур. Наиболее продвинутые корпорации уже ищут пути к этому.

9.4.2. Фармацевтика между массовостью и индивидуализацией

Системные проблемы фармацевтики. В последнее десятилетие наблюдается снижение официально допущенных биофармацевтических продуктов, подтверждающихся патентом. С другой стороны, число препаратов, проходящих клинические испытания, постоянно растет (Woollett 2012).

Как уже было сказано, биотехнологические (они же фармацевтические) корпорации показывают очень быстрый рост капитализации на биржах в 2013–2015 гг. Кроме того, наблюдается бум публикаций по биомедицинской тематике: более миллиона научных работ только за 2014 г. указывают на многообразие разрабатываемых технологий (Сайгитов 2015). В то же время многие обозреватели отмечают, что сокращаются расходы на разработку новых лекарств, так как на разработку нового лекарства корпорации тратят, по разным подсчетам, до 1,5 млрд долларов, (например: Щетко 2014), а иногда и до 3 млрд (Сайгитов 2015), а сроки создания нового лекарства вместе с тестированием увеличиваются на 10–17 лет. Соответственно и количество принципиально новых лекарств не только не растет, но падает, прорывные открытия отсутствуют (см., например: Сайгитов 2015; Мартюшев-Поклад 2015). В частности, одной из важных конкретных причин снижения выпуска биостимуляторов является усиление контроля над их производством. И, вероятно, проблема наращивания производства безопасных лекарств в ближайшие десятилетия только обострится, ее решение также будет одним из стимулов для мощного рывка (как это произошло в период начала промышленной революции).

Все это напоминает ситуацию с техническим прогрессом в XVII–XVIII вв., когда различные цеховые ограничения стояли на его пути. При этом ни в коем случае нельзя думать, что только обскурантизм и невежество продуцировали

эти запреты. За ними стояли вполне практичные и в целом верные вещи. Во-первых, борьба за высокое качество продукции. Ведь члены цехов обязаны были соблюдать качество, а внецеховое производство очень часто выдавало хотя и дешевые, но низкокачественные вещи (что, собственно, мы нередко наблюдаем и сегодня). Во-вторых, борьбу за сохранение определенного уровня доходов и, как сказали бы сегодня, рабочих мест, чему явно грозило внецеховое производство. Тем не менее, несмотря на локальные победы, в целом противодействовать мануфактурному и машинному производству для цехового ремесла было невозможно. И в итоге, как мы помним, развитие технологического прогресса пошло в обход цеховых правил¹⁰. Вот почему можно предполагать, что прорыв к совсем новым рубежам в фармакологии (или аналогичной ей области) может пойти другим путем. Таким образом, возникший кризис в создании новых лекарств в целом можно объяснить теорией производственных революций. *Такого рода кризисы на модернизационной фазе производственных революций создают предпосылки для прорыва на их завершающей фазе.*

Важнейшая причина указанных сложностей в том, что в работе фармацевтических компаний главным остается упор на массовое производство и отсутствует такая важная характеристика кибернетической революции, как курс на индивидуализацию. Это абсолютно объяснимо, ведь столь значительные затраты на разработку нового лекарства требуют огромного рынка для его продажи. В то же время массовые лекарства обладают важным недостатком: коэффициент их действия недостаточен, реально лекарства помогают только части пациентов (от 30 до 50 % [Мартюшев-Поклад 2015]), но чтобы это проверить, человек должен пройти один или несколько курсов лечения. Конечно, и 30 % – не такой плохой результат, но с учетом дороговизны лекарств, заинтересованности врачей в прописывании определенных препаратов, воздействия рекламы, все более частых случаев самолечения и т. п. эффективность лечения существенно снижается. Существуют и серьезные побочные эффекты от приема неправильных лекарств. Только в США ежегодно на ненужные или неправильно назначенные лекарства и процедуры тратится около 210 млрд долларов; еще от 300 до 490 млрд уходит на лечение болезней, которые можно было бы предотвратить изменением образа жизни (Там же). Возможно, эти цифры завышены, но в любом случае они производят впечатление. Общеизвестно также, что развитие фармакологии сопровождается постоянным повышением резистентности микроорганизмов к антибиотикам (Alanis 2005; Spratt 1994). И это делает многие лекарства неэффективными уже спустя сравнительно небольшое время после их выпуска. Есть также данные (тоже, вероятно, завышенные), что от неправильно подобранных лекарств в США в конце 1990-х – начале 2000-х гг. ежегодно умирало более ста тысяч человек (Null *et al.* 2003: Table 1. Estimated Annual Mortality and Economic Cost of Medical Intervention)¹¹. Ситуация в этом плане и сегодня удручающая.

Таким образом, отсутствие курса на индивидуализацию дает нам основание предполагать, что прорыв к завершающей фазе кибернетической революции будет осуществляться в биомедицине каким-то иным путем, нежели разработка все

¹⁰ Сегодня биологически активные добавки – одна из форм обхода многочисленных правил, связанных с производством лекарств, в результате чего многие лекарства объявляются БАДами.

¹¹ В целом ятрогенные факторы (связанные с некавалифицированным медицинским вмешательством) являются одной из важнейших причин смертности в экономически развитых странах (Мартюшев-Поклад 2015).

более дорогостоящих лекарств с пониженным коэффициентом полезного действия. Возможно, в будущем возникнет ситуация, когда с помощью сложных аналитических программ и получения важной индивидуальной информации с помощью датчиков от организма будут определять индивидуальную реакцию на те или иные компоненты препаратов. А затем программы смогут рекомендовать варианты индивидуальных рецептов (в которых может быть подобрана особая комбинация лекарственных ингредиентов для данного индивида). По этим рецептам будут изготавливать лекарства (как это делалось в аптеках до начала промышленного изготовления лекарств, и иногда делается до сих пор). Далее действие вновь изготовленного лекарства опять проверяется на индивиде, пока не будут подобраны правильные ингредиенты и дозы. После чего данный рецепт сохраняется в базе данных. Фактически число комбинаций не будет столь велико, как число людей, и из данной базы случаев и рецептов программы смогут извлекать подходящие даже без детального мониторинга организма по совпадению различных физиологических параметров людей.

Фармацевтический бизнес ищет выход из трудностей. Разумеется, уже сегодня в сообществе фармацевтических производителей предлагаются те или иные способы решения указанных проблем. В настоящее время ведется поиск подходов к индивидуализации фармакологии, что получило название персонализации. В частности, на стыке традиционной фармакологии и биотехнологии возникает новая отрасль – фармакогеномика, целью которой является создание персонализированных лекарственных препаратов – «наиболее эффективных лекарств для данного пациента в данное время» (Глумсков 2007: 11; Щетко 2014; Silberglitt *et al.* 2006). Но, конечно, это направление еще находится в эмбриональном состоянии, хотя были предположения, что персонализация медицины и терапии будет достигнута в 2020 г. (Silberglitt *et al.* 2006), очевидно, до этого еще весьма далеко. Весьма любопытным с точки зрения нашей концепции является идея, высказанная двумя представителями инновационного бизнеса К. Васденом и Б. Уильямсом (Wasden, Williams 2012)¹². Их работа называется «Обладание болезнью: новая трансформационная бизнес-модель для здравоохранения» (“Owning the Disease: A New Transformational Business Model for Healthcare”).

Они предрекают в скором будущем ураган, который сметет не подготовившиеся к нему компании, а также изменит коренным образом все подходы к здравоохранению в плане его организации и ценностей (*Ibid.*). Их идея состоит в переходе к потребителецентристской модели решения проблемы болезни скорее, чем к традиционной научно-исследовательской и внедренческой модели (*Ibid.*).

Суть модели состоит в стремлении объединить в едином «продукте» (коммерческом предложении) возможность решения всех задач и проблем, которые связаны с диагностикой и лечением конкретного заболевания. Иными словами, пациент получает от одной фирмы весь спектр услуг для решения проблемы со здоровьем в связи с его реальным (или потенциальным) заболеванием¹³.

¹² Анализ этих идей см. также в уже упоминавшейся работе: Мартюшев-Поклад 2015.

¹³ Исходя из бизнес-процессов, которые здесь описываются, перевод на русский язык словосочетания “owning the disease” как «обладание болезнью» не полностью передает смысл идеи. Скорее это должно звучать как «доверительное управление болезнью».

Таким образом, предлагается системный подход (в виде пакета услуг, куда «все включено») в виде системы элементов диагностики, лечения и реабилитации, сопровождения хронического заболевания. В данном подходе учтены такие важные тенденции происходящей кибернетической революции (которые мы не раз уже упоминали), как экономия ресурсов (а системный подход позволяет, по мысли авторов проекта, сокращать расходы) и индивидуализация, поскольку клиенты в медицине все настоятельнее требуют персонализированного подхода и «привязки» оплаты к результату, а не к количеству проведенных процедур. Поскольку компания будет получать оплату за результат, а не за лечение, она заинтересована избежать последнего, когда это представляется рациональным, и заниматься поиском профилактических мероприятий и оптимальных решений.

Среди наиболее подходящих для применения модели «обладания болезнью» следующие хронические заболевания: нарушения обмена (ожирение, диабет), сердечно-сосудистые заболевания (гипертоническая болезнь, ишемическая болезнь сердца), неврологические заболевания (болезнь Альцгеймера, эпилепсия), болезни дыхательной системы (астма, хронические обструктивные болезни легких). Правда, как справедливо замечает аналитик (Мартюшев-Поклад 2015), зачастую эти болезни развиваются совместно, осложняя их течение, вызывают другие осложнения: например, ожирение часто сопровождается хроническим поражением суставов (артрозами), большинство из перечисленных заболеваний сопровождается депрессией, и т. д. В этом случае, следовательно, системный подход получается неполным.

Поскольку в настоящее время ни одна компания не обладает всем спектром решений для лечения какого-либо хронического заболевания и с учетом того, что более 80 % расходов здравоохранения (в США) приходится именно на хронические заболевания, требующие пожизненного сопровождения, авторы работы справедливо считают, что компания, которая сможет создать платформу для «обладания болезнью», получит стратегическое преимущество перед конкурентами. Данные взгляды показывают, что организация медицинского обслуживания должна измениться, и предвестником этого является все более заметное желание пациентов персонализировать лекарства и медицинские процедуры, а также получить идеологическую поддержку (см., например: Крафт 2012). Однако консерватизм существующей фармацевтической и отчасти медицинской структуры, огромные интересы очень влиятельных сил, стоящих за ними, а также определяющее влияние государства (с учетом лоббизма) делают возможность перехода к вышеописанной модели маловероятной.

9.5. ПРОГНОЗЫ РАЗВИТИЯ БИОТЕХНОЛОГИЙ НА ЗАВЕРШАЮЩЕЙ ФАЗЕ КИБЕРНЕТИЧЕСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ

Исходя из сегодняшних тенденций и общего смысла развития кибернетической революции, можно наметить будущие вехи развития биотехнологии в период завершающей фазы этой революции (2030–2070-е гг.). Как уже было сказано, она может начаться в сравнительно узкой сфере, откуда затем инновации начнут распространяться и захватывать все новые области.

Разумеется, очень сложно предугадать направление и время совершения конкретных открытий. Повторим, нам представляется, что на самом первом эта-

пе биотехнология как самостоятельное направление будет играть менее важную роль, чем медицина. Она выступит скорее важной составляющей медицинских технологий, способствуя прорыву в области излечения болезней и влияния на организм. Но, вероятно, именно используя биотехнологические достижения, удастся заставить организм побеждать определенные болезни.

9.5.1. Характеристики кибернетической революции в развитии и применении биотехнологий

Движение к саморегуляции и самоуправляемым системам. Самоуправляемость в биотехнологиях проявляется весьма заметно с самого начала ее развития. Возможно, это связано с тем, что биотехнологии развивались сразу как высоконаучное направление, а, как мы уже отмечали, именно в науке движение к автоматизации, управляемости процессами и самоуправляемости проявилось едва ли не раньше, чем в других отраслях (уступая разве что военной области). Уже сейчас можно говорить о реализации некоторых принципов саморегуляции на уровне генома. В частности, вместе с полезным геном, например солеустойчивости (Гринин и др. 2010), в растение встраивают специальные гены-контролеры, которые запускают нужный ген только в определенных условиях. Таким образом, налицо прежде не существовавшая самоуправляемая (без участия человека в самом процессе, но контролируемая им) биологическая система, которая, однако, работает так, как нужно людям. В биотехнологиях также применяется саморегуляция для синтеза важных ферментов¹⁴.

В биотехнологиях самым активным образом привлекаются для развития управляемости различные инновационные технологии. Так, имеются примеры использования роботов как помощников в научных исследованиях по генетике. Например, в 2009 г. в журнале *Science* сообщалось о роботе «Адам», который самостоятельно сделал исследования в области биотехнологий в отношении белковых катализаторов дрожжей *Saccharomyces*, для которых не были обнаружены кодирующие их гены. При этом робот выполнил все стадии научной работы. Это может стать началом совершенно нового подхода к науке. До сих пор ни одна из существующих автоматизированных систем не была в состоянии самостоятельно выполнять все стадии научного процесса (King *et al.* 2009).

В дальнейшем в целом ряде важных систем, связанных с биотехнологиями, будет наблюдаться радикальное развитие саморегуляции и самоуправляемости. Так, вполне вероятно, что в области генетической трансформации в будущем весь процесс получения трансгенного растения будет проходить без участия человека, то есть станет самоуправляемым. При этом в организм будут переносить не отдельный полезный ген, а целый их комплекс, из которого в зависимости от условий окружающей среды будут включаться нужные. Такие технологии могут быть важны для сельскохозяйственных растений, особенно в случае существенных колебаний климата. Появится возможность подбирать наиболее оптимальные вариации семян и рассады для уникальной комбинации погодных условий

¹⁴ За нее Ф. Жакоб и Ж. Моно в 1965 г. получили Нобелевскую премию. Оказалось, что синтез белка в организме – это сложно регулируемый процесс. Французские ученые выяснили, что у кишечной палочки при наличии сахара в среде включается синтез ферментов, необходимых для его метаболизма. Когда сахар заканчивается, синтез ферментов останавливается. Таким образом, сам субстрат является частью регуляторной системы организма. Это стало широко использоваться в биотехнологиях, поскольку дало возможность регулировать синтез необходимых белков и сделать его непрерывным.

и территории. Будут созданы огромные базы данных таких сортов и вариаций. Будет возможным создавать вариации растений даже для отдельных оранжерей, парников или участков по заказу производителей или коллекционеров. В принципе человек сможет придумать себе гибрид комнатного растения, подходящий для интерьера, и заказать его изготовление и доставку. Это же относится и к животным, среди которых гораздо быстрее смогут выводить разные вариации в рамках отдельных пород (либо даже по индивидуальному заказу). Возможно, что селекция животных на основе генной инженерии будет также развиваться в направлении работы, требующей меньшего участия человека.

О возможностях создания в будущем саморегулируемых биологических (и экологических) систем достаточно значительного уровня говорят успехи современной генетической науки и технологии. Уже сегодня генетические модификации позволяют изменять целые популяции. Так, все больше развивается методика распространения генов «подсадными» особями. Например, бесплодные комары внедряются в дикую популяцию, и в результате скрещивания с такими бесплодными особями численность продуктивных насекомых сокращается (Venedict, Robinson 2003; Ткачук и др. 2011).

Создание новых материалов и веществ. Возможность создания самоуправляемых и самонастраиваемых систем с помощью биотехнологий, в частности генетических манипуляций, открывает важное направление в области создания новых материалов с заданными свойствами. Как мы уже говорили, весьма обещающей может быть работа в области усовершенствования биопластика. В настоящий момент производство пластика не из нефтепродуктов составляет пока только 1 %. Эксперты считают, что его производство к 2020 г. будет насчитывать 3,5–5 млн тонн, что, к сожалению, составит лишь примерно 1–2 % от общего производства пластиков (Лешина 2012; Ашпина 2014). То есть говорить о массовом выпуске биопластика пока не приходится (кроме того, сегодня далеко не весь биопластик реально полностью разлагается). Основными препятствиями для использования пластиков, изготовленных на основе сельскохозяйственного сырья, стали их себестоимость (биопластики стоят в 2–7 раз дороже, чем аналоги, полученные из углеводородного сырья) и ограниченные функциональные возможности (чувствительность продуктов из крахмала к влаге, ломкость полиоксибутирата), а также недостаточная гибкость при производстве специализированных пластиковых материалов. Несмотря на трудности, биотехнология дает надежду на более экологически чистую и возобновляемую продукцию, что в долгосрочной перспективе позволит сэкономить ресурсы и продвинуться в решении экологических проблем.

Как мы видели ранее, важнейшим направлением биотехнологий будет создание искусственных антител (искусственного иммунитета), новых (и более персонализированных) лекарственных препаратов, искусственных биологических тканей и органов, модификаций генома и отдельных генов и многое другое, что коренным образом изменит образ жизни человека, существенно трансформирует человеческое тело и его внутренние органы, возможности его здоровья и долголетия, в целом – качества жизни. Но это одновременно создаст множество новых и сложных этических, правовых, гуманитарных и экономических проблем, о которых гораздо правильнее думать заранее.

Потенции биотехнологии позволят заменить в той или иной мере производство естественным путем технологического сырья, получаемого от домашних животных, например кожи. Уже сегодня появляются соответствующие проекты, хотя порой они выглядят фантастически. Например, компания Modern Meadow хочет совершить переворот в швейной промышленности, начав выращивать кожу в лабораториях (Загорский 2012).

Процесс создания биотехнологической натуральной кожи будет включать в себя несколько этапов. Сначала ученые отберут миллионы клеток у животных-доноров. Это может быть как домашний скот, так и экзотические виды животных, которых часто убивают только ради их кожи. Затем эти клетки будут размножены в биореакторах. На следующем этапе клетки будут соединяться в единую массу, которая затем при помощи 3D-биопринтера будет сформирована в слои. Клетки кожи сформируют коллагеновые волокна, а клетки «мяса» образуют настоящую мышечную ткань. Этот процесс займет несколько недель, после чего мышечная и жировая ткани могут быть использованы для производства пищевых продуктов. Несмотря на экзотичность и необычность ситуации, в принципе это весьма похоже на процесс создания искусственного меха, с помощью чего удалось решить проблему изготовления теплой одежды.

В будущем на повестке дня также окажутся возможные изменения в сельском хозяйстве, связанные с созданием новых видов растений и животных (именно эти виды и будут по-настоящему генно-модифицированными), а производство искусственной пищи может, в свою очередь, существенно повлиять на развитие сельского хозяйства.

Индивидуализация. Подобно медицине, биотехнология будет развиваться по пути индивидуализации (об индивидуализации, связанной с развитием геной инженерии и влиянием на гены зародыша, мы уже говорили выше). Другой пример индивидуализации – клонирование, ведь оно в теории может позволить индивиду оставить свою точную генетическую копию. Стоит отметить, что клонирование само по себе – весьма распространенное явление в природе. Скажем, из части тела гидры может вырасти полноценный организм. Искусственное клонирование растений представляет собой уже давно известный и хорошо налаженный процесс. Это связано с тем, что растения обладают высокой тотипотентностью, когда из одной клетки можно получить целый организм. Клонирование растений широко используется в коммерческих целях. Например, так получают большое количество всем известных голландских тюльпанов. Однако клонирование животных пока удается плохо.

Одним из первых опыты по клонированию провел в 1948 г. Г. Лопашов, который доказал, что если поместить в яйцеклетку клеточное ядро другой особи, набор генов у эмбриона будет таким же, как у организма, клеточное ядро которого было использовано. Многочисленные эксперименты показали, что если брать ядро взрослой клетки, то эмбрион будет нежизнеспособным. Опыты на лягушках подтвердили, что клонированию подлежат клетки, которые еще не специализировались. Поэтому для клонирования стали использовать столовые (незрелые клетки) (Gurdon, Colman 1999).

Различают полное и частичное клонирование организмов. Частичное клонирование – наиболее перспективное направление, поскольку может дать возможность получать донорские органы для трансплантации. Клонирование же

целого организма, естественно, вызывает наибольший интерес у публики и жаркие споры о необходимости и допустимости такого рода исследований. К настоящему времени удавалось клонировать свиней, овец, коров, собак и других животных¹⁵.

Однако, несмотря на громкие эксперименты, особенно с овцой Долли, клонирование вряд ли будет значительно развиваться в ближайшее время из-за серьезных биологических препятствий в отношении этого процесса. Следует заметить, что результаты клонирования из-за стремления к сенсационности сильно преувеличены. Так, овца Долли состарилась в два раза быстрее сородичей, ведь она клонировалась из клетки взрослой особи, возможности которой для деления оказались существенно ниже, чем у эмбриона. В результате животное усыпили. Тысячи экспериментов проводились на различных животных, в том числе более сотни – на человекообразных обезьянах, но называть их по настоящему удачными пока нельзя.

Гораздо более широкие возможности для развития и внедрения на уровне коммерческого производства имеет терапевтическое клонирование, связанное с выращиванием «запасных» тканей и органов, с использованием стволовых клеток (см., например: Джонс б. г.), о чем мы упоминали в *Главе 8*.

9.5.2. Развитие биотехнологий и возможность решения некоторых сложных проблем

Решение продовольственной и других проблем. Биотехнология, вероятно, поможет в будущем решить многие глобальные вопросы, такие как удешевление производства медикаментов, удобрений, продуктов питания и др., в том числе и экологически чистых продуктов.

С биотехнологией связывают надежды на решение одной из глобальных проблем человечества – *увеличение и удешевление производства пищевых ресурсов*. Эта задача очень актуальна с учетом того, что еще в течение нескольких десятилетий рост населения Земли будет продолжаться (прежде всего в бедных и беднейших странах, особенно в Африке), возможно, достигнув 9 или более млрд человек (см.: Population... 2012). Решение продовольственной проблемы может пойти разными путями, в частности за счет создания в массовом количестве пищевого белка, нехватка которого в рационе остро ощущается во многих обществах. В настоящее время с помощью биотехнологий в основном производится кормовой белок, но уже сейчас есть результаты и по производству пищевых белков или даже искусственного мяса. Однако пока такое производство слишком дорого. Сейчас один грамм лабораторного мяса стоит 1000 долларов (Загорский 2012), однако это тот путь, который проходит продукт от лаборатории до массового дешевого производства.

Важные возможности в плане развития продуктивности (и одновременно экономии ресурсов, например корма) связаны с получением новых признаков

¹⁵ Технология клонирования состоит в том, что из яйцеклетки при помощи микрохирургической операции удаляется ядро и вместо него вводится ядро соматической клетки другой особи (донора), в которой содержатся гены только донорского организма. Однако, по современным представлениям, генетический материал не является константой, он изменяется с возрастом. Таким образом, с переносом ядра взрослой особи переносится ее возраст и накопленные изменения. К тому же показано, что генетические материалы родителей не просто сливаются, а сложно взаимодействуют, навязывая друг другу свои сильные гены. Очевидно, что от этого процесса значительно зависит правильное формирование будущего организма. Подробнее об этой технологии, а также об истории клонирования животных см.: Панчин 2016.

у сельскохозяйственных животных и растений путем модификации генома. В целом, как уже было сказано, успехи в генной инженерии станут одним из наиболее прорывных направлений будущей революции.

Решение городских и некоторых экологических проблем. Возможности биотехнологий для решения экологических проблем были осознаны давно. Сформировалось даже особое направление – экологическая биотехнология, по которой написано немало работ и даже учебников (см., например: Форстер, Вейз 1990). Перед биотехнологиями ставились и ставятся, например, такие задачи: создать рациональные и безвредные для человека и среды процессы конверсии продуктов сельского хозяйства в более ценные товарные формы; сыграть значительную роль при создании безотходных технологий. Кое-что в этом направлении уже сделано, но в целом в сравнении с объемом загрязнений пока немного. Однако есть надежда, что развитие биотехнологий все же поможет совершить рывок в этом направлении.

Потенциальный рынок использования *биоремедиации*, то есть применения для нейтрализации загрязняющих веществ живых микроорганизмов (в том числе растений для очистки почв), по данным Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), составляет 75 млрд долларов (Хороненкова 2012), а скорее всего, намного больше. Некоторые технологии биоремедиации действуют достаточно быстро. Так, внесение в почву азотных удобрений после катастрофы танкера у берегов Аляски, что резко ускорило развитие природных микробных сообществ, действовало намного эффективнее обычных способов очистки. Микробы разлагали нефть в 5 раз быстрее. В итоге загрязнение, которое должно было бы отравлять берег до 10 лет, было полностью устранено за 2 года с затратами менее 1 млн долларов (Там же). Вообще проблемы устранения загрязнения вод и почв от нефти очень актуальны. Ежегодно в мире теряется до 3 % всей добываемой нефти, которая соответственно загрязняет окружающую среду (Ахмадиев, Рудакова 2013; о методах биоочистки от нефтяных загрязнений см. там же). Однако использование биоремедиации таит в себе и всякого рода риски и опасности в связи с тем, что может быть нарушен экологический баланс за счет ГМО-организмов или чрезмерных последствий такого вмешательства.

Возможности использования биотехнологий для решения экологических проблем очень велики. Например, в настоящее время используют так называемые микробные биосенсоры. Они перспективны в силу простоты конструкции, надежности и дешевизны исходного материала, основаны на уникальной способности микроорганизмов окислять широкий спектр органических соединений. С их помощью определяют характер и уровень загрязненности вод, например сточных вод мясокомбинатов. Для собственно очистки применяют, в частности, методы биофлокуляции, используя особые группы микроорганизмов (актиномицеты), которые обладают высокой скоростью размножения, мало зависящей от плотности популяции, что выгодно отличает их от других микроорганизмов (Перов и др. 2008).

Несомненно, произойдут важные изменения в плане использования биотехнологий для решения экологических проблем. Здесь можно предположить, что биотехнологии будут внедряться прежде всего в экологию города. Надо учитывать, что в ближайшие десятилетия в городах будет жить, возможно, на 40–50 % больше людей, чем сейчас (см., например: NIC 2012). В условиях быстрого раз-

вития нынешних бедных стран проблемы антисанитарии, заболеваемости и т. п. станут весьма острыми, а с учетом того, что различные болезни быстро распространяются по всему миру, проблемы отдельных стран становятся общими. Среди задач, которые потенциально могут быть решены с помощью развития биотехнологий, вероятны проблемы очистки воды, утилизации мусора, ликвидации бродячих животных. «Разливы нефти, хлорсодержащие растворители, пестициды – почвенные бактерии научились переваривать почти все, что предоставляют им люди, расщепляя их до безвредных конечных продуктов вроде углекислого газа и воды» (Грей, Рэй 2014: 123). Поэтому все активнее, как сказано выше, для очистки воды и почвы применяются микроорганизмы, с их помощью также получают биогаз при утилизации мусора. Поэтому мы полагаем, что в будущем эти и им подобные экологические проблемы будут решены достаточно радикально именно на уровне создания биологических самоуправляемых систем, когда удастся решить целый ряд технических и научных задач.

Таким образом, подобно тому, как в конце XIX – начале XX в. с помощью биотехнологий удалось победить массовые инфекции, в середине XXI в. с помощью новейших биотехнологий, возможно, удастся решить наиболее острые проблемы городов, где будут жить не менее двух третей землян. Но проблема экологических саморегулируемых систем, естественно, не ограничивается городами, она должна быть распространена на очистку водоемов и других экосистем. Создание экологических саморегулируемых систем значительно уменьшит затраты, освободит огромные территории, занятые под свалки, позволит разводить рыбу в самоочищающихся водоемах.

Можно предположить, что важным направлением станет работа в области создания саморегулируемых экологических систем в курортных и рекреационных местах, это обеспечит лучшие условия для отдыха и бизнеса.