

Кибернетическая революция и грядущие технологические трансформации (развитие ведущих технологий в свете теории производственных революций)

А. Л. Гринин, Л. Е. Гринин

Вводные замечания

В предшествующей статье мы пытались показать социальную эволюцию в технологическом аспекте, начиная с верхнепалеолитической революции и до самого последнего времени. Технологический аспект социальной эволюции был представлен в рамках теории принципов производства и производственных революций. Настоящая статья продолжает это исследование. Она посвящена анализу последней производственной революции – кибернетической – и рассмотрению изменений, происходивших в ее ходе, начиная с 1950-х гг. Но особое внимание в статье уделено тем изменениям, которые с высокой долей вероятности произойдут в результате кибернетической революции в ближайшие 30–60 лет. А по некоторым аспектам прогнозы даются до конца XXI столетия. В своем анализе мы, с одной стороны, опираемся на максимальный учет новейших достижений и тенденции научно-технического прогресса, а с другой – основываемся на возможностях теории производственных революций. Читатель убедится, что благодаря этой теории удастся удачно интерпретировать многие факты и тенденции современного технологического развития и надежнее обосновывать прогнозы развития в будущем.

Прежде чем перейти к указанному анализу, имеет смысл очень кратко суммировать основные идеи теории производственных революций.

Раздел 1. КИБЕРНЕТИЧЕСКАЯ РЕВОЛЮЦИЯ: ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОБОСНОВАНИЕ, МЕТОДОЛОГИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

1.1. Основные идеи и выводы теории производственных революций

Согласно нашей концепции, весь исторический процесс с точки зрения коренных технологических изменений можно разделить на четыре круп-

ных периода. В качестве понятия, которое бы характеризовало такие технологические эпохи, нами был предложен термин *принцип производства*. Мы выделяем четыре принципа производства:

1. Охотничье-собираТЕЛЬский.
2. Аграрно-ремесленный.
3. Промышленно-торговый.
4. Научно-кибернетический.

Смена принципов производства связана с началом и совершением производственных революций¹. Речь идет об: 1) аграрной революции; 2) промышленной революции; 3) кибернетической революции (см. Рис. 1).

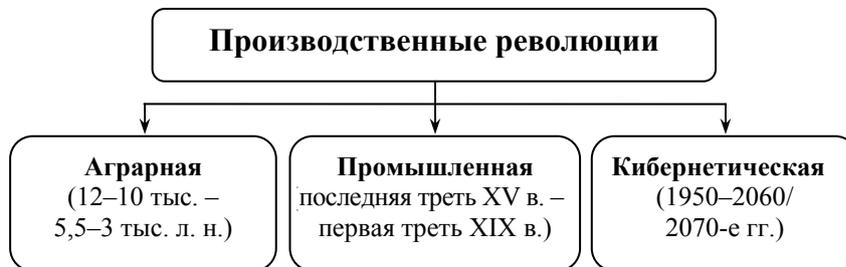


Рис. 1. Производственные революции в истории

Каждая производственная революция включает в себя три фазы: две *инновационные* (начальную и завершающую) и одну среднюю, располагающуюся между инновационными фазами – *модернизационную* (см. Рис. 2).

На начальной *инновационной* фазе формируются авангардные технологии, распространяющиеся затем на другие общества и территории. Возникает первичная система нового принципа производства, которая длительное время сосуществует со старыми технологиями. Затем начинается средняя *модернизационная* фаза – длительный и очень важный период распространения, обогащения, диверсификации новых технологий принципа производства (появившихся на начальной инновационной фазе), период улучшающих изобретений, в ходе которого создаются условия для завершающего инновационного рывка.

В результате завершающей *инновационной* фазы производственной революции новый принцип производства достигает расцвета. По мере того как развивается завершающая фаза производственной революции, открывается как бы «смысл» принципа производства, а также его возможности и пределы, решительно расширяются его географические рамки за счет новых обществ.

¹ В системном и оформленном виде теория принципов производства и производственных революций впервые была опубликована в: Гринин 1995–1996, кн. 3. Наиболее обстоятельно изложены в: Гринин 1997–2001; 2006; 2009; 2012, 2013; Гринин, Коротаев 2009. На указанные работы мы в дальнейшем почти не ссылаемся, но отсылаем к ним читателя, если он захочет более детально ознакомиться с теорией принципов производства и соответствующей литературой.

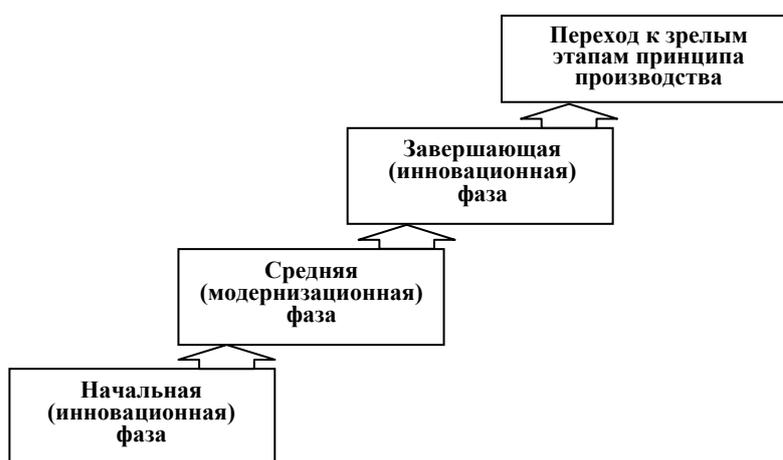


Рис. 2. Структура производственных революций (фазы и их типы)

Напомним, что в результате аграрной революции сначала (X–VII тыс. до н. э.) возникли примитивные земледелие (ручное) и скотоводство, а затем (начиная с III тыс. до н. э.) произошел переход к интенсивному земледелию (ирригационному или плужному неполивному). Эти изменения также представлены в Табл. 1.

Таблица 1. Фазы аграрной революции

Порядок фазы	Тип	Название ²	Даты	Изменения
Начальная	Инновационная	Ручного земледелия	12–9 тыс. л. н.	Переход к примитивному ручному (мотыжному) земледелию и скотоводству
Средняя	Модернизационная	Без названия	9–5,5 тыс. л. н.	Появление новых одомашненных растений и животных, создание комплексного сельского хозяйства, появление полного набора сельскохозяйственных инструментов
Завершающая	Инновационная	Поливного и плужного земледелия	5,5–3,5 тыс. л. н.	Переход к ирригационному или плужному неполивному земледелию

² В этой и следующей таблицах названия даны только инновационным фазам, модернизационным фазам специального названия не требуется.

В ходе промышленной революции в XV–XVI вв. произошли коренные перемены в развитии мореплавания и торговли, а также в механизации на основе водяного двигателя и разделения труда. Затем в XVIII – первой трети XIX в. произошла замена ручного труда машинным, а водной и мускульной энергии – паровой. Эти изменения также представлены в Табл. 2.

Таблица 2. Фазы промышленной революции

Порядок фазы	Тип	Название	Даты	Изменения
Начальная	Инновационная	Мануфактурная	XV–XVI вв.	Развитие мореплавания, техники и механизации на основе водяного двигателя, развитие мануфактуры на основе разделения труда и механизации
Средняя	Модернизационная	Без названия	XVII – начало XVIII в.	Формирование комплексного промышленного сектора и капиталистического хозяйства, рост механизации и масштабов разделения труда
Завершающая	Инновационная	Машинная	1730–1830-е гг.	Создание секторов с машинным циклом производства с применением паровой энергии

Начальная фаза кибернетической революции (1950–1990-е гг.) связана с прорывами в автоматизации, энергетике, в области синтетических материалов, но особенно в создании электронных средств управления, связи и информации. В настоящий момент кибернетическая революция находится на средней модернизационной фазе, во время которой происходит одновременно мощное распространение всех предшествующих достижений и их существенное улучшение. Также готовятся технологические и общественные условия для будущего рывка. Завершающая фаза, по нашим расчетам, может начаться в ближайшие десятилетия – в 2030–2040-е гг. Мы предполагаем, что эта фаза революции, названная нами «эпохой (само)управляемых систем», начнется с попыток существенных коррекций или даже модификаций биологической природы самого человека, то есть прорывами в медицине и биотехнологиях. Схема кибернетической революции представлена на Рис. 3.

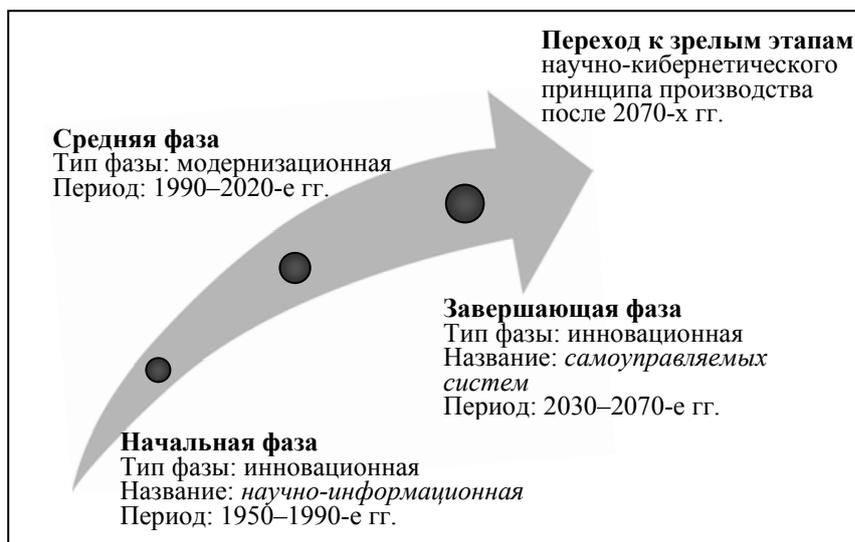


Рис. 3. Фазы кибернетической революции

1.2. Основные характеристики кибернетической революции

Мы выделили основные характеристики кибернетической революции, которые в разной степени наглядности уже проявили себя на начальной и средней ее фазах, но еще более релевантно покажут себя на ее завершающей фазе.

Группа свойств управляемости и самоуправления

1. Качественный рост управляемости системами и процессами разной природы, разного масштаба и уровня сложности, то есть переход к самоуправляемости систем. Возникновение устойчивых самоуправляемых и саморегулируемых систем, способных к автономному функционированию и самостоятельному приспособлению к изменениям.

В рамках этого ведущего направления уже имеются и еще возникнет множество вариантов обеспечения такой управляемости и самоуправления. В их числе стоит особо указать: воздействие на наиболее ключевые элементы систем и этапы процессов; управляемый «ремонт» наиболее уязвимых элементов систем за счет ресурсов самой системы или минимального вмешательства; прогнозирование и предотвращение возможных проблем; обеспечение возможности регенерации отдельных наиболее уязвимых элементов и т. п.

2. Выбор оптимальных режимов в рамках конкретных целей и задач (как логическое следствие первой характеристики).

3. Активное развитие *транскибернетических* самоуправляемых систем, которые органически включают в себя принципы и материалы систем всех уровней: неживых, живых, технических, социальных. В частности, начнется процесс создания биотических (биотехнических) систем (в число которых постепенно будет входить и человеческий организм), в разной степени включающих в себя принципы и материалы живой и неживой природы, функционирующие на основе не только биологических, но и технических принципов; а также еще более сложных биосоциотехнических систем.

Группа признаков адаптации материалов и систем к задачам

4. Индивидуализация как цель и ориентир в развитии технологий и бизнес-стратегий. Сегодня индивидуализация проявляется в развитии технологий, способных массово производить товары, но мелкими сериями или даже по индивидуальным заказам и с учетом индивидуальных запросов потребителя, либо создавать такие товары, которые сами способны подстраиваться и перестраиваться под вкусы потребителя (давая ему возможность изменить их достаточно существенно в соответствии со своими запросами). В будущем расширятся возможности выбора индивидуальной программы как наиболее оптимальной (здесь прослеживается связь с пунктом 2), в частности для решения конкретных задач и т. п. С увеличением экономического значения медицины ориентация на услуги, направленные на учет индивидуальных особенностей организмов людей и их желания, резко усилится.

5. Миниатюризация, то есть постоянное уменьшение размеров деталей, приборов, машин и т. п.

6. Экономия ресурсов и энергии в любой области деятельности, в том числе путем миниатюризации систем, локализации области воздействия и т. п.

7. Получение заданных, прежде не известных свойств в химических, биологических и бионических (техно-биологических) системах.

Различные направления развития должны дать эффект системного кластера инноваций, как это всегда бывает в инновационных фазах производственных революций. В целом завершающую (грядущую) фазу кибернетической революции можно назвать **эпохой самоуправляемых систем**, так как смысл этой революции после ее завершения заключается в приобретении способности создавать системы самого разного (начиная с нано-) уровня, которые могли бы быть самоуправляемыми либо управляться косвенным образом через другие системы или за счет точечных влияний и коррекций. Таким образом, в результате распространения достижений этой революции начнется переход к производству особого рода технологий и широкому внедрению их в жизнь. Последние позволят создавать и использовать разнообразные устойчивые самоуправляемые (и саморегулирующиеся) системы: производственные, биологические, физиологические, транспортные, контролирующие, техносциальные, а так-

же комплексные (в том числе бионические и социобиотехнические) и даже отдельные социальные. В результате этого – повторим – на порядок возрастает возможность планируемо и без непосредственного вмешательства человека влиять на развитие или даже управлять самими разными процессами, управление которыми в настоящий момент невозможно либо крайне ограничено.

Самоуправляемость в эволюционном аспекте. В рамках настоящего альманаха стоит отметить, что развитие управляемости систем представляется нам одним из наиболее важных трендов эволюции в целом. В значительной мере таковыми выступают звезды, способные после истощения определенных видов «горючего» переходить на другие его формы (за счет новых реакций) и соответственно поддерживать свои размеры и форму. Множество самоуправляемых систем появляется в рамках химической формы движения материи. На стадии преджизни можно найти удивительные примеры самоуправляемых систем. Естественно, что жизнь с точки зрения самоуправляемости демонстрирует нам еще более высокие ее образцы. При этом эволюция жизни идет по пути развития самой самоуправляемости, например формирование центральной нервной системы – путь повышения саморегуляции организма. Очевидно, саморегуляция – универсальное явление, характерное для большинства систем. Различные формы социальной организации в животном мире также демонстрируют новую ступень развития самоуправляемых систем. Нервная система во многом заменила гуморальную регуляцию как менее эффективную. Наконец в ходе социальной эволюции способность к самоуправляемости возрастает, в том числе за счет возникновения корпораций и государственных систем (включая демократию). Затем в ходе внедрения различных изобретений появляются и технические самоуправляемые системы, число которых в процессе развития индустриальных обществ колоссально возрастает. Таким образом, кибернетическая революция, породившая множество новых систем саморегуляции и самоуправления, может быть рассмотрена в ряду не только производственных революций, но и более длительного эволюционного развития.

Основные направления, с прорывом в которых, как мы думаем, начнется завершающая фаза кибернетической революции, – это медицина и биотехнологии, а несколько позже, уже в процессе разворачивания этой фазы (самоуправляемых систем), – и нанотехнологии (подробное объяснение этому дано ниже). *Поэтому в настоящей статье мы подробно рассмотрим именно эти три основных направления кибернетической революции: медицину, биотехнологию и нанотехнологию.*

Значение теории принципов производства и производственных революций в том, что они не только позволяют сделать более глубокое и продуктивное описание эволюции производственного и технологического развития, но и дают инструмент для прогнозов в отношении разворачивания кибернетической революции и научно-кибернетического принципа

производства. Наличие такого инструментария – признак научности теории. Наш прогноз основывается на выявленных закономерностях между фазами производственных революций.

Следующий раздел покажет, в чем состоят эти закономерности и как они могут быть использованы для прогнозов.

1.3. Логика производственной революции: анализ функциональности и соотношений между этапами

Напомним, что в основе предложенной концепции производственных революций лежит идея, что в любой производственной революции каждая из трех ее фаз выполняет функционально сходную роль, а соотношения длительности фаз в рамках каждого цикла остаются примерно такими же. Вот почему на основе закономерностей, выявленных в ходе аграрной и промышленной революций, можно сделать предположения: во-первых, о длительности средней (модернизационной) фазы кибернетической революции; во-вторых, о времени начала и приблизительной продолжительности завершающей фазы этой революции; в-третьих, о том, в каких секторах и направлениях будет идти новый технологический прорыв. Таким образом, теория производственных революций дает нам методологию для обоснования прогноза будущих технологических изменений кибернетической революции. Напомним, что начальная инновационная фаза кибернетической революции уже завершилась (1950-е – начало 1990-х гг.), а модернизационная – находится примерно посередине своего развития (началась с 1990-х гг. и предположительно завершится в конце 2020–2030-х гг.). Поэтому уже можно сравнить то, что предсказывает теория в отношении каждой фазы производственной революции, с реальностью, а также какую роль те или иные технологии могут сыграть в завершающей фазе кибернетической революции.

Для лучшего объяснения такой методологии мы сформулировали в этом параграфе ряд функциональных и процессных зависимостей между: а) начальной и завершающей фазами производственной революции; б) начальной и средней фазами; в) между средней и завершающей фазами производственных революций. Далее, зная алгоритм того, как процессы, проявившие себя в начальной фазе производственной революции, могут трансформироваться на ее средней и завершающей фазах, на основе исследования начальной и незаконченной средней фазы кибернетической революции мы дали прогнозы о ее развитии в ближайшие десятилетия.

1.3.1. Особенности начальной фазы: объединение в систему несистемных тенденций и развитие новых

На начальной фазе производственной революции:

1. *Получают системное выражение целый ряд тенденций и инноваций, которые являлись несистемными по отношению к предшествующему принципу производства.* Несистемность означает, что по отношению

к предшествующему принципу производства эти явления не играли решающей роли и не вытекали из главных его характеристик, в то время как в отношении нового принципа производства роль этих характеристик значительно возрастает. Рассмотрим это на примере автоматизации, которая в той или иной степени проявлялась в промышленном производстве задолго до начала кибернетической революции. Одна из главных характеристик промышленного принципа производства заключается в том, что производство осуществляется машинами, которыми управляет человек, используя свои органы чувств, силу и квалификацию. Но при этом часть процессов в работе механизмов осуществлялась практически без непосредственного участия человека, то есть автоматически. Однако автоматизация процессов не являлась фундаментальной, то есть обязательной характеристикой промышленного принципа производства, а была своего рода его дополнительным бонусом. В начале XX в. автоматизация стала очень активно развиваться (например, в электротехнике для предотвращения аварий, в двигателях – для удобства управления и т. п.). Но и тогда она не получила решающего значения, поскольку еще не использовалась для автоматизации технологических процессов в целом.

Следовательно, автоматизацию в этот период можно считать гиперразвитием такой фундаментальной черты, как механизация. Причем даже в первой половине XX в. автоматизация не являлась ведущей линией промышленного принципа производства. Напротив, лидирующее место заняли процессы новейшего разделения труда, включая массовое распространение конвейерного производства (как мы помним, постоянное углубление разделения труда в отличие от автоматизации – фундаментальная и сквозная характеристика промышленного принципа производства, ярко обозначившаяся еще в мануфактурах). Иное дело – развитие автоматизации во второй половине XX в. Она стала важнейшей характеристикой научно-кибернетического принципа производства (на его начальных этапах), находя все новые формы применения и выражения в освобождении человеческих затрат по управлению процессами (особенно в ИКТ).

Итак, *начальная фаза производственной революции развивает до предела несистемные элементы предшествующего периода*. Автоматизация в этом плане продолжала механизацию, химия искусственных материалов – органическую химию, зеленая революция в сельском хозяйстве – развитие агрономии. Развитие радио- и телевизионной техники было продолжением тренда новых способов передачи информации, обозначившегося ранее. Такая преемственность может скрывать глубину перехода от одной эпохи к другой. Недаром в 1950–1970-е гг. научно-техническое развитие считали продолжением индустриальной революции, в лучшем случае ее называли новой индустриальной революцией (научно-технической революцией). Однако этому сверхразвитию были присущи качественные особенности, о которых будет сказано в пункте 2.

2. Эти бывшие несистемные характеристики вместе со вновь появившимися теперь сводятся в единую систему нового принципа производства. Автоматизация, создание искусственных материалов химической промышленности, мощнейшее развитие некомпьютерной электроники и средств связи, появление удобных и разнообразнейших двигателей, массовый переход на новый вид энергии и топлива, прорыв в селекции и защите растений, освобождение миллионов работников, ранее занятых в сельском хозяйстве и промышленности, и переход их в сектор услуг в совокупности с рядом новых направлений в технике, информатике и науке, – все это создало принципиально новую ситуацию в экономике. Это и было свидетельством начала новой производственной – кибернетической – революции.

3. Важным моментом, дающим мощнейший синергетический эффект, выступает также временная плотность (кластерность) рождения и развития целого ряда направлений, в большей или меньшей степени являющихся характерными именно для нового принципа производства. В 1950–1960-х гг. такими были атомная энергетика, космические исследования и освоение космических частот для связи и других целей, освоение морских глубин и, конечно, информационно-компьютерные, множительные, лазерные технологии, а также и другие направления (в частности, в генетике, медицине и биотехнологиях).

4. Однако судьба этих инновационных направлений может быть различной: часть из них далее – во второй половине начальной фазы и в средней фазе – получает особое по масштабам и важности развитие, а часть развивается не столь бурно. Некоторые и вовсе оказываются (по крайней мере, на время) тупиковыми. Так, на сегодняшний день атомная энергетика столкнулась с сильными ограничениями из-за экологических проблем, надежды на овладение термоядерной энергией не оправдались, а освоение морского дна (за исключением морского шельфа) пока остается экзотикой. Зато развитие ИКТ стало ведущей линией.

5. Смена лидирующего сектора во время производственной революции. Ведущее значение специфических характеристик и секторов нового принципа производства наглядно проявляется ближе к концу начального этапа производственной революции или в средней ее фазе (как и случилось с ИКТ). Этим секторам необходимо время, чтобы обрести зрелость и системность. Таким образом, в течение первых двух фаз производственной революции идет постоянная смена ведущих отраслей и секторов и появление новых секторов. Одна из отраслей нового принципа производства на какое-то достаточно длительное время (конец начальной фазы и средняя фаза) начинает как бы подавлять все другие. Эта область становится своего рода символом производственной революции, ее движущей силой. Но в дальнейшем ее роль как локомотива должна снизиться. Так, шерстяная промышленность (важнейшая на ранней фазе промышленной

революции) оказалась второстепенной на ее завершающей фазе, когда ее сменила хлопчатобумажная промышленность. Отсюда вывод, что ведущим направлением завершающей фазы кибернетической революции будут не ИКТ. Они могут совершить новый рывок, получив импульс от новых прорывных технологий, но это случится существенно позже начала завершающей фазы этой революции.

Например, можно предположить, что раньше или позже, но неизбежно произойдут очень серьезные изменения в трансформации самого процесса программирования. В настоящий момент он очень трудоемкий и медленный. Скорее всего, развитие пойдет в направлении упрощения и роботизации части работы по написанию и особенно внедрению программ, словом, в замене труда программиста в основном машинным и развитии направления «сам себе программист». Тут можно использовать следующую аналогию относительно истории прогресса в информационной сфере. В 1814 г., то есть примерно в середине завершающей фазы промышленной революции, появилась печатная машина Фридриха Кенига, полностью механизировавшая все операции, которые печатники прежде делали вручную, что повысило производительность труда сразу в несколько раз. Исходя из этого имеет смысл предположить, что такой прорыв может случиться где-нибудь в середине XXI в., хотя наверняка значительные продвижения в этом плане будут и раньше.

6. Уже на начальной фазе появляется прообраз тех секторов, которые станут ведущими в завершающей ее фазе. Но в начальной фазе они не играют ведущей роли (см. об этом ниже).

1.3.2. Особенности средней – модернизационной – фазы: накопление инноваций и поиск места прорыва

1. *Масштабность проявившихся тенденций и зарождение новых.* С одной стороны, на этой фазе находят свое развитие (но в разной степени) многие процессы, оформившиеся на начальной фазе производственной революции. С другой стороны, именно на модернизационной фазе мы видим истоки тех форм, которые получают новое воплощение на фазе завершения производственной революции. Следовательно, важно разделить тенденции, которые уже обнаружили свою зрелость, и тенденции, которые лишь зарождаются, понять, какие из них будут нарастать, а какие окажутся второстепенными, стабилизируются или позже пойдут на убыль.

2. *Развитие идет вширь. Потребность в глубоких социально-политических изменениях.* В первой половине модернизационной фазы особенно заметно расширение новых технологий. Во второй – движение вширь, столкнувшись с определенным насыщением, несколько замедляется, что усиливает активизацию в инновациях. Все вместе создает ощущение кануна чего-то важного. Однако решающий компонент для возникновения новой системы пока отсутствует. Причем эта лагуна может опреде-

ляться отсутствием не только технического (технологического) решения, но и общественных условий для его внедрения. Одна из важнейших характеристик модернизационной фазы заключается в том, что *в этот период должны произойти глубокие перемены в социальных и политических отношениях*. Если смотреть на период промышленной революции, то XVII–XVIII вв. – время социальных революций в Англии, Голландии, США, Франции, которые изменили мир, а также это время изменений в мировой политике – Тридцатилетняя война (1618–1648) и Вестфальский мир, последовавший за ней, надолго заложили основы международных отношений. Глобализация и период, который мы назвали эпохой новых коалиций (Гринин 2009), также должны существенно изменить мир и уже значительно меняют его.

3. *Идея решающего компонента (ключевого ароморфоза)*. На модернизационной фазе происходит накопление возможностей и усовершенствований, которые сыграют свою роль в том, чтобы завершающая фаза революции стала возможной. К моменту ее начала должны сформироваться почти все компоненты. Но только с появлением решающего компонента инновации начнут складываться в новую систему. При этом перестройка иерархии в рамках всей производственной системы (областей деятельности, отраслей производства и инноваций по их важности) будет очень существенной.

4. *Решающая инновация появится в новой области*. Вывод, который можно сделать из исследования производственных революций: решающая инновация появится в не самой главной отрасли экономики (каковыми изначально были ирригационное земледелие в числе разных видов земледелия, хлопчатобумажная отрасль в числе других отраслей промышленности). Мало того, в этой отрасли должны сложиться особые условия, которые обязательно включают в себя высокую коммерческую прибыльность и привлекательность, устойчивый на длительное время спрос. Тем не менее появление решающей инновации может на какое-то время остаться недооцененным.

Решающая инновация для начала завершающей фазы кибернетической революции может родиться в разных областях медицины или биотехнологий, может иметь место цепочка инноваций, которые переведут растущее количество инноваций в качественно новую систему. Не исключено, в частности, что такой прорыв будет связан с обнаружением успешных технологий борьбы с раком, поскольку эта болезнь существенно отличается от большинства других и требует решения на уровне генетики, а также использования принципиально новых технологий.

1.3.3. Особенности завершающей фазы

1. *Окончательно проявляются главные характеристики производственной революции*. Все основные черты завершающей фазы революции

могут быть обнаружены и на начальной ее фазе, но только ретроспективно, в недифференцированном, частичном или неразвитом виде. При этом сходство должно проявиться в ином уровне и масштабе. Эти черты будущего проявляются и на средней фазе, в чем-то даже более зримо, поскольку на средней фазе характеристики принципа производства приобретают относительно законченный, хотя еще и неразвитый, вид.

Вывод первый: проанализировав начальную и среднюю фазы, выделив определенные их черты, определив динамику развития, можно сделать вывод о ведущих чертах кибернетической революции. Именно на основании такого анализа мы смогли выделить наиболее важные характеристики кибернетической революции, включая экономию ресурсов и энергии, миниатюризацию, индивидуализацию, все более широкое использование новых неизвестных ранее материалов и др. Эти черты уже вполне проявляются в нашу эпоху (см. в первой статье раздела и ниже в этой статье), но они станут абсолютно ведущими в следующую.

2. Если на начальной фазе возникает много направлений, то среди них обязательно есть такие, которые станут ведущими на завершающей фазе. При этом на начальной фазе они могут играть менее важную роль. Так, если на завершающей фазе промышленной революции главное – это техника, машины, замена ручного труда машинным, то на начальной ее фазе техника является только частью нового направления. Технические инновации (замена ручного труда механическим) в начале промышленной революции были не столь важными, а главным был процесс, углубляющий разделение труда. Если же обратиться к аграрной революции, то напомним, что ведущим направлением примитивного земледелия было использование плодородных участков путем ручной обработки (например, с помощью заостренной палки). Плодородие почвы было естественным или достигалось сжиганием растительности. Что касается ирригационных технологий, то в начальной фазе аграрной революции они были довольно слабо распространены и привязаны к некоторым локальным условиям. Зато в завершающей ее фазе они стали ведущими и, по сути, оставались таковыми в течение всего аграрно-ремесленного принципа производства.

Вывод второй: следовательно, ведущий сектор завершающей фазы кибернетической революции уже сформировался и является вполне заметным, но он в числе тех, которые пока не играют решающей роли в экономике. По нашему мнению, ведущую роль в разворачивании завершающей фазы кибернетической революции сыграют медицина и биотехнологии. Обоснование этому ниже.

3. После появления решающей инновации или их группы должна начаться взаимная интеграция инновационных секторов. Этот процесс заметно усиливается в течение завершающей фазы производственной революции. Инновации взаимно интегрируются и создают принципиально новую систему. Так случилось, скажем, вскоре после изобретения механиче-

ского прядильного станка (который непрерывно совершенствовался). До того разрозненные важные направления (паровые машины, паровая энергия, новые виды машин, принципы управления на крупных предприятиях, сложившийся институт изобретательства и разные технические инновации) позволили в течение двух десятилетий создать принципиально новый по всем параметрам сектор хлопчатобумажных фабрик. Далее это вызвало кумулятивный эффект быстрого изобретения недостающих инноваций в области расчесывания и выравнивания хлопка, крашения, наложения рисунка и т. п.

Вывод третий: прорывы в медицине вызовут «подтягивание» и складывание в систему самых разных инноваций, что в итоге создаст возможность для завершения кибернетической революции (включая достижения ИКТ, нанотехнологий, робототехники, новые материалы и т. п.).

4. *Необходимо разделять область прорыва и смысл новой системы производства.* Область прорыва только открывает период глубоких трансформаций. А полностью производственная революция обретет свои логику и «смысл» позже, когда трансформации достигнут весьма значительной глубины и размаха. Однако этот «смысл» уже можно пытаться угадать, исходя из процессов на начальной и средней фазах производственной революции.

Вывод четвертый: общая идея кибернетической революции может быть связана с постоянной и всесторонней экономией энергии, ресурсов и материалов, которая начнет осуществляться благодаря массовому развитию самоуправляемых систем принципиально нового уровня. Собственно, рост уровня жизни населения планеты, численность которого будет увеличиваться, по крайней мере, до 2070-х гг. (по большинству прогнозов, см., например: Population... 2012), без прорыва в области такой экономии не может состояться.

1.3.4. Определение будущего сектора прорыва. Почему медицина и биотехнологии?

Итак, один из выводов теории производственной революции таков: одно из целого ряда ее направлений, обозначившихся на ее начальной и средней фазах, станет местом прорыва к завершающей ее фазе. При этом до начала рывка они не играют ведущей роли в экономике. Анализ реального хода производственных революций также подсказывает характеристики будущего сектора:

- его товар должен быть в числе предметов первой необходимости. Зерно (в эпоху аграрной революции) и хлопчатобумажные ткани (в эпоху промышленной) отвечали этим требованиям;
- направление развития сектора должно отвечать ведущим тенденциям и проблемам общества (иригационное земледелие смогло поддержать и ускорить начавшийся рост населения; хлопчатобумажная отрасль суще-

ственно отвечала потребностям растущей урбанизации и использованию избыточной рабочей силы, возникшей в аграрном секторе);

- сектор может повлиять на значимое число областей, интегрировать их (в эпоху аграрной революции ирригационные сооружения, например, требовали совместных действий в масштабах общества; в период промышленного переворота это привело к быстрому росту экономики, перестройке транспортных путей и торговли);

- консерватизм в этом секторе сравнительно слабый. Слабый консерватизм также означает, что прорыв может родиться в относительно второстепенной (по объему производства и инвестиций) сфере, какой была хлопчатобумажная промышленность в Англии XVIII в.;

- сектор прорыва должен быть высокодоходным и стабильным по спросу, иначе он не привлечет крупных инвестиций. Кроме того, заимствование из данного сектора новых технологий, возникших в авангардном обществе, другими обществами не встретит серьезных препятствий (правительственных запретов и т. п.);

- сектор должен иметь большие резервы в отношении роста своей производительности, и потребность в росте этой производительности должна длительное время оставаться высокой, чтобы стимулировать инновационную и инвестиционную активность.

Рассмотрим это в отношении кибернетической революции. Очевидно, что сектор будущего прорыва завершающей фазы этой революции уже должен существовать. Но какой из существующих отвечает изложенным характеристикам? Мы считаем, что такой прорыв не может состояться, например, в направлении зеленой (низкоуглеродной) энергетики (несмотря на то, что сегодня ветровая энергетика развивается весьма интенсивно), поскольку зеленая энергетика не сможет заменить в полном объеме традиционную, а будет сосуществовать с ней, как сегодня сосуществуют с углеродной энергетикой гидро и атомная. Робототехника, если бы удалось создать роботов, которые умеют выполнять самые разные функции в сфере услуг, могла бы стать таким прорывным направлением. И недаром именно в создании роботов виделось будущее научно-технического прогресса. Робототехника сегодня имеет широкий спектр применения и достаточно быстро развивается (см., например: Макаров, Топчиев 2003; Гейтс 2007). И все же ни по объемам сегодняшних инвестиций, ни по уровню решенности стоящих перед ней проблем (включая разработки нейросетевых технологий), ни по интересу к этой отрасли пока не видно, что робототехника станет направлением, где совершится прорыв. В более позднее время робототехника, однако, должна достичь выдающихся успехов (подробнее см. Заключение).

Исходя из анализа сегодняшней ситуации, можно сделать вывод, что только медицина отвечает всем этим требованиям. Поэтому *именно изменения в медицине могут стать областью начала прорыва в завершающей*

фазе кибернетической революции. Подчеркнем, именно начала, поскольку в дальнейшем этот прорыв начинает охватывать все новые и новые области, создавая систему инновационной экономики будущего.

Рассмотрим подробнее, почему именно связанная с медициной область станет прорывной.

а) Медицина уникальна в плане того, что она требует постоянной работы в области новых высоких технологий.

б) Противников внедрения этих технологий здесь меньше, чем в других областях (равно как и препятствий для заимствования инноваций).

в) Коммерческие перспективы внедрения новых технологий огромны, поскольку люди всегда готовы за них платить.

г) В ближайшие десятилетия не только перед развитыми, но и перед многими развивающимися странами чрезвычайно остро встанут проблемы старения населения, нехватки трудовых ресурсов и обеспечения растущего слоя пожилых людей. Именно успехи в медицине могли бы помочь в этом, в частности позволить реально увеличить продолжительность трудовой жизни (как и жизни в целом) пожилых людей, а также активнее включить в трудовой процесс инвалидов. *Таким образом, пожилые люди и инвалиды в возрастающей степени обеспечивали бы свое содержание сами.*

д) В ближайшие десятилетия прогнозируется бурный рост мирового среднего класса и рост уровня образования, особенно за счет развивающихся стран (НИС 2012), а оба эти фактора означают резкий рост спроса на медицинские услуги.

е) Медицина вполне может быть интегральной областью, в которой сойдутся все линии развития (биотехнологии, нанотехнологии, робототехника, использование новейших ИКТ и различных приборов, когнитивные технологии, использование новых материалов и т. д. и т. п.). Ниже мы дополнительно вернемся к вопросу о том, почему в 2030-е гг. могут сложиться уникальные возможности для прорыва в области медицинских технологий. Поскольку биотехнологии тесно связаны с медициной (через фармакологию, генную инженерию, создание новых имплантантов и т. д.), то вполне вероятно, что прорыв в медицине будет во многом основан на достижениях именно в биотехнологиях.

Дальнейший план изложения. В завершающей фазе кибернетической революции и в зрелые этапы научно-кибернетического принципа производства будут трансформированы очень многие области производства и жизни. Но в настоящей статье мы рассмотрим подробно только три основных направления кибернетической революции: медицину, биотехнологию и нанотехнологию, которые, как уже было сказано, могут сыграть важную роль в процессе разворачивания завершающей фазы этой революции (особенно это касается первых двух направлений).

Вновь обращаем внимание, что медицина и биотехнологии не играли решающей роли в начальной фазе кибернетической революции, а нано-

технологии как отрасль появились уже на средней фазе, однако теперь они выдвигаются на ведущие позиции. Тем не менее мы постараемся показать динамику их развития в течение всей кибернетической революции. Структура нашей статьи будет отражать важность тех направлений, которые станут решающими в грядущей фазе кибернетической революции. Изложение начнется с медицины (причем по объему этот раздел будет больше остальных), далее мы скажем о биотехнологиях и наконец – о нанотехнологиях.

В целом мы будем по возможности придерживаться следующего плана: история развития отрасли и периодизация ее основных этапов; сопоставление этой периодизации и общей схемы развития кибернетической революции; основные достижения отрасли на начальной и средней фазах кибернетической революции; какие характеристики кибернетической революции и каким образом проявляются на разных фазах развития направления; прогнозы относительно ее развития и роли в завершающей фазе революции и зрелых этапах научно-кибернетического производства; взаимосвязи отрасли с другими направлениями. Поскольку каждая отрасль помимо общей логики кибернетической революции имеет и определенную собственную логику, невозможно ожидать полного совпадения периодизаций кибернетической революции и каждой из отраслей (тем более что любая периодизация всегда условна).

Раздел 2. МЕДИЦИНА В КИБЕРНЕТИЧЕСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ

2.1. История развития в XIX–XX вв.

Медицина – одна из древнейших отраслей человеческой деятельности. При этом с древности медицинские услуги были одной из форм платных услуг.

Только в XIX в. медицина, как и науки о человеческом организме, становится сложившейся дисциплиной (до этого она носила описательный характер). Анатомия также достигла значительных успехов. Изучается нервная система, функции мозга. Фармакология собрала настолько обильный материал, что обособилась в отдельную науку. Патология открывает многие механизмы заболеваний, обнаруживается негативное влияние микроорганизмов. Практическая медицина освоила множество приемов, позволяющих точно распознавать болезни, а также выработала способы лечения многих острых и хронических расстройств. В хирургии произошел переворот, благодаря которому лечение стало идти весьма успешно, а многие операции, которые прежде давали неблагоприятные результаты, теперь стали намного безопаснее. Нельзя не отметить использование наркоза, что позволило значительно облегчить страдания больных и расширить возможности хирургов. Огромных успехов достигли медики в области родовспоможения и акушерства. Развивается гигиена, благодаря

ей в передовых цивилизованных государствах исчезли многие заразные болезни или их число значительно сократилось.

С развитием науки и промышленности, быстрым ростом городов, изменением политики государства в области здоровья населения медицина становится важнейшей частью социальной жизни и существенной по объемам частью сферы услуг.

В последний период промышленного принципа производства в медицине произошли очень крупные изменения, в том числе благодаря тому, что государства стали выделять на нее крупные средства. Кроме того, медицина всегда была очень чутка к различным инновациям. Так, уже в 1896 г., то есть через год после открытия, рентгеновские лучи стали использовать для диагностики переломов. Общий рост уровня жизни и образования также способствовал развитию медицинской отрасли и внедрению в нее новейших научных и технических достижений (например, рентгена, электрических механизмов, химических средств и т. п.). В результате в XX в. медицина претерпела значительные изменения. С конца XIX в. все активнее происходил переход от изготовления лекарств в аптеках к промышленному их выпуску. Одним из первых начали производить аспирин, когда в 1874 г. удалось получить салициловую кислоту из фенола. В дальнейшем было разработано законодательство, регулирующее тестирование лекарств, и сложился процесс их одобрения специальными органами, разделены рецептурные и безрецептурные лекарства.

В центре внимания медиков оказались уже не столько массовые инфекционные заболевания, которые удалось победить методом вакцинации, сколько массовые хронические и дегенеративные заболевания, а также инфекции в результате ранений, простуды и т. п. Впервые удалось добиться прогресса в области переливания крови. Важной вехой в 1930-е гг. стало создание первых антимикробных препаратов – сульфаниламидов (стрептоцид, сульфидин и др.), которые произвели переворот в лечении заболеваний, вызванных микроорганизмами.

Большое значение приобрели научные исследования в области функционирования организма и механизмов заболеваний. Стали появляться научные медицинские институты, организуются масштабные проекты, под эгидой которых объединяется множество специалистов, в отличие от предыдущих веков, когда медицинскими исследованиями занимались в основном врачи-одиночки. Изменились также программы медицинского образования: введено изучение химии, физики, электроники, ядерной физики и генетики. Для XX в. характерно интенсивное развитие системы здравоохранения, производственной медицины, а также врачебных ассоциаций и медицинских страховых компаний. В целом в XX в. медицина начинает обретать массовость и общую доступность. Быстро растет число врачей, посещение которых становится обыденным делом.

Большой толчок развитию медицинской науки и практической медицине дали мировые войны, во время которых правительство мобилизовало на медицинские цели огромные средства.

В целом в последние десятилетия XIX – первой половине XX в. развитие медицины шло по пути обеспечения эпидемиологической безопасности и устранения наиболее массовых причин смертности (связанной с заражением, болезнями, передаваемыми путем контакта, детской и женской смертностью, потерей крови и т. п.). Решив в целом эти проблемы, медицина смогла включиться в кибернетическую революцию уже на основе новых задач: борьбы с болезнями старости и цивилизации, реабилитации и повышения качества жизни; развития специальной медицины.

2.2. Медицина на начальной и средней фазах кибернетической революции

2.2.1. Медицина на начальной фазе кибернетической революции (1950–1990-е гг.).

Радикальный подъем медицины как все более важной и быстро растущей сферы услуг происходит в начальной фазе кибернетической революции. *При этом рост медицинских услуг шел в общем процессе быстрого роста сферы услуг. Напомним, что сектор услуг по объему вклада в ВВП является ведущим в экономике развитых стран*³.

В течение начальной фазы кибернетической революции (1950–1990-е гг.) зарождаются новые направления медицины или достигают определенного уровня зрелости те, что зародились ранее, например электроэнцефалография, электросудорожная терапия, трансплантология, активное использование электроники, лазеров и новых методов диагностики (УЗИ и др.). Значительных результатов удалось достичь в области снижения детской смертности, лечения бесплодия, геронтологии, психиатрии, развития методов контрацепции, пересадки органов и создания искусственных органов, смены пола и т. д. Возникли спортивная, космическая и другие отрасли медицины. В целом благодаря медицине в ряде случаев улучшилась управляемость человеческим организмом.

Чтобы лучше понять, какие прорывы происходили в медицине в течение начальной фазы кибернетической революции, имеет смысл обратиться к самой престижной научной награде. В период

³ Впервые этот факт сделал центральным в своей теории Д. Белл, который отметил, что в США в 1950–1970-е гг. произошел переход от преимущественного выпуска товаров к преимущественному оказанию услуг (Bell 1973; Белл 1999; Hartwell 1976). Далее из сектора услуг стал выделяться быстро растущий сектор сложных и квалифицированных услуг (см. подробнее: Гринин 2012), важную часть которых составляют медицинские.

с 1930-х по 1980-е гг. Нобелевские премии получили авторы открытий в области витаминов, гормонов, антибиотиков, нервной регуляции, ферментов. Все они быстро стали применяться в фармакологии. После 1958 г. Нобелевские премии начали получать исследователи в области генома.

2.2.2. Медицина на модернизационной фазе кибернетической революции (1990–2020-е гг.).

Начиная с 1990-х гг. и по настоящее время медицина находится в модернизационной фазе кибернетической революции. Отрасль при этом сильно компьютеризируется, особенно в области диагностики, создаются различные автоматические системы управления: дыханием, снабжением организма питательными веществами, артериальным давлением, работой некоторых внутренних органов и т. п. Разрабатывается огромное количество медицинских препаратов, которые удешевляются и становятся более доступными. Развивается хирургия, связанная с пересадкой органов и заменой отдельных участков тела на искусственные⁴, в том числе эндоскопическая хирургия, обеспечивающая проведение операций без разрезов, восстановительная медицина и т. п. Сами хирургические методы становятся менее болезненными, требуют меньше времени для реабилитации. Появляются новые направления в медицине, такие как ударно-волновая терапия, борьба с повышенным холестерином. Активно развиваются направления, зародившиеся ранее, в частности связанные с искусственным оплодотворением, сохранением беременности и принятием родов⁵ и т. д.

Начиная с 1980–1990-х гг. делаются заметные успехи в области борьбы с наиболее частыми причинами смертности – инфарктом, инсультом, а также редкими и сложными заболеваниями, в том числе наследственными. Значительные успехи достигнуты в технологиях исследования внутренних органов и тканей, в том числе с применением таких методов, как компьютерная томография, ядерно-магнитно-резонансная интроско-

⁴ Так, проблему замены закупоренных артерий отчасти помогло решить применение искусственных сосудов, созданных американскими учеными в 1990-х гг. Изготовленные на основе коллагена, они расширяются и сужаются, как настоящие, управляя потоком крови, идущей к сердцу (Грицак 2003).

⁵ Роды благодаря новым технологиям проходят не столь болезненно, не портят фигуру женщины и в целом все более отдаляются от естественного протекания процессов. С помощью стимуляторов роды происходят в определенно назначенный день, вероятно, в скором будущем генетика или генетическая инженерия подскажут решение проблемы предопределения пола ребенка (хотя с появлением у родителей подобного выбора может возникнуть такая серьезная социальная проблема, как возможная диспропорция полов, которая сегодня, например, очень остра в Китае). Становятся популярными роды оперативным методом во избежание лишних нагрузок и травмирования матери. Например, в 1950-е гг. в клиниках Франции операцию кесарева сечения делали в 1 % всех родов. В наши дни в КНР, например, путем кесарева сечения рождает каждая вторая женщина, а в Бразилии – более 50 % (в Рио-де-Жанейро – 80 %).

пия, рентгенофлюоресцентный анализ и ряд других (Мирский 2010: 19), хотя некоторые из них появились еще в предшествующие десятилетия (1970–1980-е гг.).

Современный этап является этапом массового распространения инноваций, накопленных за последние десятилетия, поскольку большинство новых технологий построены на улучшении ранее сделанных открытий и изобретений. При этом медицина в целом (то есть с учетом государственных и частных расходов) оказывает все более заметное влияние на объем ВВП. Распространение медицинских технологий – дорогостоящий процесс. Несмотря на это, происходит неуклонный рост средств, выделяемых государством на медицину. Пока в целом их рост сравним с темпом роста ВВП⁶. Однако в развитых странах расходы на медицину на одного жителя в 10–20 раз больше, чем в развивающихся. С учетом прогнозируемого более быстрого темпа роста ВВП в развивающихся странах, быстрого формирования там среднего класса можно предположить, что в целом расходы на медицину будут расти опережающими темпами. Старение населения совокупно с ростом благосостояния приведут к тому, что расходы на медицину будут опережать общий рост ВВП. И, вероятно, эта тенденция даже усилится. Об этом говорит тот факт, что даже в периоды незначительного роста ВВП расходы на медицину увеличиваются достаточно быстро. В частности, в странах ОБСЕ в период последнего кризиса (2008 г.) рост ВВП на душу населения был очень незначителен, всего 3 % (соответственно в 2007 г. – 35 855 долларов, в 2010 г. – 36 994 доллара), а рост медицинских расходов на одного человека вырос на 13 % (соответственно в 2007 г. – 3858 долларов, 2010 г. – 4364 доллара [рассчитано по: World Bank 2012a]). Уровень развития медицины также значительно влияет на такой популярный показатель развития страны, как индекс человеческого развития.

В то же время в медицине зреют очень крупные инновации, которые станут ощутимыми через два-три десятилетия (а некоторые и ранее). Сейчас наиболее интенсивно развивающиеся отрасли медицины (в широком смысле термина) – борьба с неизлечимыми заболеваниями, имплантация, репродуктивная медицина, генная терапия, а также фармацевтика и эстетическая медицина, о которых мы еще скажем отдельно. Сегодня медицина неразрывно связана с биотехнологиями (через фармацевтику, генные технологии, новые материалы и многое другое). Отличительной

⁶ Так, по данным Мирового банка, с 1995 по 2010 г. расходы на медицину на каждого жителя Земли выросли вдвое – с 454 долларов в год до 950 долларов при довольно заметном росте населения (World Bank 2012b), ВВП на душу населения также вырос почти вдвое – с 5200 до 10 000 долларов на человека (World Bank 2012a).

Однако в развитых странах расходы на медицину растут опережающими темпами. Согласно данным по странам ОБСЕ, расходы на медицину растут более чем вдвое на человека, соответственно в 1995 г. – 2102, а в 2010 г. – 4364 доллара, тогда как рост ВВП на душу населения 1995 г. – около 22 000 долларов США, а 2010 г. – около 37 000 долларов (The World Bank 2012a).

чертой современной медицинской науки является ее «биологизация»: широкое применение подходов, базирующихся на методах молекулярной и клеточной биологии. Возникло новое перспективное направление – биомедицина (см. подробнее, например: Стратегия... 2013). Ниже мы рассмотрим некоторые важные направления медицины. Отметим, что рост значения медицины виден также в феномене медикализации. Он выражается в том, что многие аспекты проявления человеческого поведения (особенно девиантного) и психики, которые ранее никак не связывались с медициной, начинают описываться в медицинских терминах и требовать медицинского наблюдения и вмешательства (см. подробнее: Юдин 2008). Кроме того, все более распространяются практики изменения тех или иных характеристик человека (от формы носа до выбора пола).

Разработка новых лекарственных препаратов. Одним из критериев оценки развития медицины является производство медикаментов, объем которого 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 страны 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, фармкомпании ежегодно расходуют на эти цели около 20 млрд долларов. (Moynihan 2003; Кондратьев 2011).

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 в 640 млрд долларов, из которых почти 50 % приходилось на США (Кондратьев 2011). Эта отрасль остается одной из самых прибыльных, с рентабельностью продаж на уровне 17 % (Там же). При этом ежегодно объем потребления растет на несколько процентов. О возможностях роста потребления лекарств в будущем можно судить по тому, что рынок лекарств в России в 2007 г. составлял всего 12 млрд по сравнению с более чем 300 млрд долларов в США (среднестатистический россиянин потребляет в год лекарств на 50 долларов, а американец – на 683 долларов [Там же]).

Эстетическая и коррекционная медицина. Все дальше по пути вмешательства в человеческий организм. Стремительно развивается эстетическая и косметическая медицина, главной задачей которой является коррекция недостатков и дефектов внешности, а также повышение привлекательности людей. Развитие этих направлений связано с ростом уровня жизни, когда люди тратят все больше денег на уход за собой, и соответственно высокой прибыльностью. По данным Forbes, всемирный

рынок косметической и эстетической медицины оценивается в 180 млрд долларов (Жохова 2011). Современные достижения помогают изменить форму различных частей лица и тела, избавиться от морщин, обеспечить омоложение кожи лица и тела, убрать лишний жир, имплантировать зубы, пересадить волосы и т. д.

Одним из высших достижений пластических хирургов является пересадка лица.

Первая операция по пересадке лица была проведена во Франции в 2005 г. пациентке, которая пострадала от собственной собаки. Не так давно стали известны подробности крупной операции, прошедшей в марте 2012 г. В результате труда врачей в Университете Мэриленда 37-летний Ричард Норрис получил новое лицо – в том числе челюсть, зубы и язык.

2.3. Прогнозы развития медицины.

Как характеристики кибернетической революции проявятся в развитии медицины

2.3.1. Два десятилетия до начала завершающей фазы кибернетической революции

Производство медикаментов. В настоящее время динамика роста разных групп медикаментов существенно различается и имеет свои особенности, что вполне объяснимо в условиях стремительных научных, социальных и экономических изменений.

Например, очень быстро растет производство так называемых дженериков, то есть лекарств, патентная защита на производство которых уже не действует. Предполагается, что объем мирового рынка производства таких лекарств с 2010 по 2018 г. может вырасти вдвое и достичь 230 млрд долларов. 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. В последнее десятилетие наблюдается снижение официально допущенных биофармацевтических продуктов, подтверждающихся патентом. С другой стороны, число препаратов, проходящих клинические испытания, постоянно растет (Woollett 2012). В целом это можно объяснить теорией производственных революций, а именно – борьбой между «консерваторами» и «новаторами», о которой мы еще скажем ниже. Одной из важных конкретных причин снижения выпуска биостимуляторов является усиление контроля над их производством. И, вероятно, проблема ускоренного производства безопасных лекарств только обострится в ближайшие десятилетия, ее решение также будет одним из источников мощного рывка (как это произошло в период начала промышленной революции).

Основной вектор модернизационной фазы кибернетической революции – широкое распространение уже появившихся инноваций (на первом этапе), их модификация и синтез. Поэтому число базовых инноваций в этот период в отдельных направлениях может быть меньше, чем в предшествующий (зато масштаб их распространения неизмеримо больше). С другой стороны, мы также предполагаем, что в течение ближайших десятилетий можно ожидать нового всплеска инноваций и появление медикаментов нового поколения.

Рост эстетической медицины. Можно предполагать в течение двух следующих десятилетий бурное развитие некоторых направлений медицины, таких как косметическая и эстетическая (хотя это может вызвать довольно серьезные психологические проблемы, в том числе связанные с самоидентификацией личности). Помимо новых технологий очень широко распространятся и уже опробованные (например, разные формы подтяжки лица, липосакция, коррекция фигуры и т. п.). Чем богаче общество, тем большую часть своего бюджета его граждане тратят на собственные здоровье и красоту. С учетом роста мирового среднего класса можно предполагать еще более быстрый рост этого направления, бурный рост всех видов эстетической медицины. Эстетическая медицина может развиваться в коррекционную медицину будущего, важнейшей задачей которой будет исправление врожденных и приобретенных пороков организма и внешности, когда будут созданы новые технологии на базе достижений хирургии и генной инженерии.

Борьба с неизлечимыми заболеваниями – важнейшее направление медицины. По данным ВОЗ, в мире наиболее частыми заболеваниями, приводящими к летальному исходу, на 2008 г. являлись инфекции нижних дыхательных путей (11,3 %), диарейные заболевания (8,2 %), ВИЧ/СПИД (7,8 %). Между тем в развитых странах наиболее распространена смертность от ишемической болезни сердца (12–15 %), инсульта и других цереброваскулярных болезней (8,7 %), раковых заболеваний трахеи, бронхов и легких (5,9 %), а в целом смертность от онкологических заболеваний в развитых странах приближается к смертности от ишемической болезни сердца.

С учетом быстрого старения населения потенциальная опасность болезней старости будет возрастать. Тенденция сегодня такова, что по мере роста продолжительности жизни именно онкологические заболевания выходят на первое место. Поэтому важнейшей задачей медицины будет борьба с онкологией и другими недугами старости. В XIX и XX вв. удалось добиться победы над многими массовыми смертельными заболеваниями (холера, желтая лихорадка, брюшной тиф, столбняк, полиомиелит, коклюш, корь, малярия, дифтерия и др.). Казалось бы, смертельно опасные инфекционные болезни, за исключением СПИДа (колоссально распространенного в странах Африки), побеждены. Однако во многих развивающихся странах с тропическим климатом и сегодня налицо массовая

гибель от инфекционных заболеваний, лихорадок. В наше время неизлечимые болезни – это вызов человечеству, неудивительно, что предусмотрены огромные премии за решение этих задач.

В плане борьбы с онкологическими заболеваниями есть позитивные изменения, связанные с возможностью раннего диагностирования и роста процента излечения (о них еще будет сказано ниже), однако в решении этой проблемы пока еще нет кардинальных перемен. Не исключено, что и к 2030-м гг. еще не сумеют победить рак. По-видимому, для победы над ним требуются очень значительные сдвиги. Зато сама победа может стать мощным импульсом для прорыва в области перехода медицины в целом на качественно новый уровень.

Движение к управляемости систем и минимизации вмешательства. Рост управляемости систем налицо в разных областях медицины. Некоторые из них уже достигли стадии настоящей самоуправляемости, например системы поддержки жизнедеятельности, искусственные органы. Другие системы находятся на пути к самоуправляемости, при этом они неразрывно сочетаются с минимизацией травмирования пациента. В хирургии, например, развивается оперирование с помощью специальных гибких инструментов, которыми можно добраться в самые труднодоступные места организма, не делая значительного надреза внутренней полости. При этом во время операций используются эндоскопы и видеокамеры, при помощи которых изображение передается на монитор со значительным увеличением. Для решения проблемы дрожания человеческих рук применяются специальные установки, заменяющие руку хирурга. Управляя ими, врач контролирует самые мелкие движения инструмента (в том числе лазера или ультразвука). Дело идет к тому, что в относительно скором времени немало операций будет осуществляться без участия хирурга. Такие операции уже стали проводиться, в 2011 г. прошла первая в мире операция по пересадке поджелудочной железы, полностью проведенной роботом Da Vinci SHDI.

2.3.2. Предпосылки для прорыва

Как уже сказано, именно область медицины станет тем участком, где начнется и станет развиваться завершающая фаза кибернетической революции. Этому, в частности, будет способствовать складывающаяся к 2030-м гг. и очень благоприятная для этого ситуация в экономике, демографии, культуре, уровне жизни и т. д., что определит огромную потребность в научно-технологическом рывке.

Перечислим эти предпосылки:

- огромный объем медицинских услуг в мире, который составляет около 10 % мирового ВВП;
- выравнивание уровней развития периферийных и развитых стран;
- создание в них огромного по численности среднего класса, сокращение бедности и неграмотности. В итоге акцент усилий сместится от ис-

коренения наиболее нетерпимых условий жизни к проблемам повышения качества жизни, заботы о здоровье и т. п. Таким образом, открывается огромный потенциал для развития медицины;

– к этому времени очень мощно проявится проблема старения населения. Причем не только в развитых странах, где она станет просто судьбоносной для демократий, но и в целом ряде развивающихся, в частности в Китае и даже частично в Индии. Обострится проблема пенсионных выплат (так как увеличится число пенсионеров на одного работающего) и одновременно усилится дефицит рабочей силы (который в ряде стран, в том числе в России, уже остро ощущается). *Таким образом, проблему нехватки рабочей силы и пенсионных отчислений необходимо будет решать за счет того, чтобы люди физически могли работать дольше на десять–пятнадцать и более лет (разумеется, здесь потребуются решить и сложные социальные проблемы)*⁷. Сказанное касается и адаптации инвалидов для более полной их вовлеченности в трудовой процесс за счет новых технических средств и достижений медицины;

– одновременно к этому времени существенно сократится рождаемость во многих развивающихся странах. Следовательно, правительства начнут в основном беспокоиться не о решении вопроса ограничения роста населения, а о его здоровье.

В целом сложатся удачные условия для крупных инвестиций в медицину: увеличение численности обеспеченных и образованных людей, рост слоя людей среднего и пожилого возраста (которые особенно активно готовы тратить деньги на медицину), усиление потребности экономики в дополнительной рабочей силе и заинтересованности государства в повышении трудоспособности пожилых людей. Иными словами, условия для активизации бизнеса, науки и государства в обеспечение прорыва в области медицины могут быть уникальными, а *возникновение именно таких уникальных условий и необходимо для начала новой фазы революции!*

2.3.3. Изменения в ходе завершающей фазы кибернетической революции

Уже в наши дни видно, что граница между диагнозом и лечением все больше стирается. Диагностирование становится постоянно необходимым для определения хода болезни и точной дозировки лекарства. В течение завершающей фазы кибернетической революции начнется переворот в медицине. Он в частности будет связан с созданием систем, с помощью которых мониторинг состояния здоровья, поддержания организма в нужном состоянии и лечение будут осуществляться в значительной мере автономными системами, которые смогут функционировать в регулярном или даже постоянном режиме. Кроме того, начнется выравнивание усло-

⁷ Роботизация и другие возможности повышения производительности труда также могут помочь, но вряд ли в такой значительной степени, как продление работоспособного возраста.

вий для пациентов в связи с возможностью стандартизации медицины и работы на удаленном доступе (то есть уровень услуг будет в меньшей степени зависеть от квалификации медицинского персонала в конкретном месте, чем теперь).

Произойдет рывок в области борьбы с неизлечимыми болезнями, но главное – в области повышения качества жизни и продления трудоспособного возраста. Медицина также будет развиваться по пути: а) профилактики и пропедевтики заболеваний, возникающих в процессе жизнедеятельности; б) возможности контролировать процессы жизнедеятельности и сокращать отклонения организма от нормы; в) максимального учета индивидуальных особенностей организма.

Управляемость и контролируемость систем проявляется во многих областях медицины. Вполне наглядно управляемость может проявиться в том, что курс лечения, операции и последующая реабилитация будут находиться под все более полным контролем полуавтономных и автономных систем. Звено за звеном отдельные функции, фазы, участки процесса лечения станут возможным отдавать под наблюдение тех или иных специальных аппаратов, систем, роботов и т. п., пока процесс лечения заболеваний от начала до конца не будет проходить под контролем специальных систем. Это одно из важнейших направлений, которое будет реализовываться в течение 2030–2050-х гг.

Другое проявление управляемости будет основано на влиянии на некоторые системы, а также ключевые факторы и элементы процессов человеческого организма (через нужные белковые соединения, клетки, антитела, активизацию иммунной системы и т. п.). Другими словами, лечение станет более направленным и даже точечным.

Третье направление может быть связано с развитием системы мониторинга за состоянием организма, что позволит проводить профилактику болезней и их раннюю диагностику. Все это также обеспечит процесс управляемости лечением.

Наконец, целый ряд функций врача могут выполнять сами пациенты с помощью обслуживающих их аппаратов и систем. Анализ важных показателей (таких как кровяное давление, содержание сахара в крови) уже сегодня можно делать без врача с помощью соответствующих приборов, также как определять норму и отклонение от нее по результатам анализов. Вполне возможно, что в скором времени диагностика из специализированных учреждений перенесется в мобильные устройства на основе наночипов, не требующих участия специалистов. Прогресс в этой области идет заметными темпами.

По прогнозам журнала *Scientific American*, уже в ближайшем будущем появятся медицинские устройства размером с почтовую марку. Их достаточно будет наложить на рану. Это устройство самостоятельно проведет анализ крови, определит, какие медикаменты необходимо использовать,

и впрыснет их в кровь (Рыбалкина 2005: 46). Маловероятно, что такой аппарат может появиться в ближайшем будущем, и к тому же подобные устройства, скорее всего, будут достаточно узкого спектра действия. Тем не менее появление подобных прогнозов весьма симптоматично, так как показывает движение в направлении развития самоуправляющихся систем. Так или иначе, но уже сейчас компания Applied Digital Solutions предлагает прибор под названием “Digital Angel” для дистанционного контроля пациентов.

В этой связи профессия врача в современном ее виде может потерять ряд нынешних атрибутов, во-первых, за счет передачи части функций различным умным системам, во-вторых, за счет расширения компетенций пользователей, благодаря различным умным системам и быстрому получению информации. Сегодня такая метаморфоза происходит со многими услугами (такими как фотография, набор и верстка, дизайн, подбор интерьера, покупка путевок, выбор маршрутов и т. п.). Разумеется, профессия врача останется, но число врачей, вероятно, не будет постоянно расти, а в итоге завершающей фазы кибернетической революции, скорее всего, даже сократится. Если потребуется на порядок увеличить число врачей, совершить технологический рывок будет сложно из-за проблем подготовки кадров и их стоимости.

Повышение точности воздействия является очень важным направлением, способным перевести лечение заболевания в управляемый процесс. Одним из способов этого станет точная доставка лекарственных препаратов до нужных клеток. Ключевую роль здесь, возможно, смогут сыграть нанотрубки, речь о которых пойдет в разделе, посвященном нанотехнологиям. Другие способы – воздействие на иммунную систему, исправление генетических отклонений, изменение технологии хирургических операций за счет более тонких и не травмирующих манипуляций и т. п.

Экономия и оптимизация потребления ресурсов. Медицина внесет существенный вклад в *оптимизацию потребления ресурсов*. Во-первых, за счет продления жизни (время жизни – наиболее ценный ресурс), во-вторых, за счет повышения работоспособности. Оптимизация потребления ресурсов будет выражаться, например, в экономии лекарственных препаратов за счет их точечной доставки и минимизации вмешательства в организм. Меньше будет применяться стационарное лечение, так как операции будут максимально направленными, а период реабилитации – минимальным. Больше людей сможет лечиться дома, поскольку не исключено развитие удаленного лечения, когда врач наблюдает за показателями пациента онлайн и делает нужные предписания.

Медицина развивается в сторону все большей **миниатюризации (как одного из направлений экономии)**. Во время хирургических операций контакт минимизируется только до необходимого слоя клеток. Например, глазные операции с использованием лазера направлены на удаление ткани

толщиной в несколько микрон. После таких операций практически не требуется реабилитации.

Искусственные антитела и рост возможностей использования иммунной системы. Единого лекарства от всех болезней никогда не будет. Но одно из универсальных направлений, которое может переломить исход борьбы со многими заболеваниями, – укрепление иммунной системы человека. В организме существует специальный инструмент иммунитета – антитела.

Антитела – молекулы, которые синтезируются для борьбы с определенными клетками чужеродных организмов – антигенами. Обычно повреждение антигена ведет к гибели чужеродного организма, а значит, к выздоровлению. Для каждого антигена синтезируется определенное специфичное антитело. Антитела вырабатываются специальными иммунными клетками – лимфоцитами, накапливаются и хранятся в течение всей жизни. Таким образом, у каждого человека образуется индивидуальная система защиты, основанная на его «истории болезней». Это одно из важнейших направлений развития **индивидуализации**. Медицина всегда связана с личностью больного. Однако в течение основной части XX в. наблюдался некоторый крен именно в сторону массовой медицины (связанный с массовой вакцинацией, профилактическими осмотрами и т. п.). В современную эпоху наблюдаются некоторые признаки движения от массовой медицины к индивидуальной (в частности, в косметической медицине), что связано с общей тенденцией кибернетической революции к индивидуализации. Но в еще большей степени индивидуализация проявится при опоре непосредственно на уникальные характеристики организма, одной из которых является иммунитет. Искусственные антитела могут усилить направленность на индивидуализацию медицины.

Ученые неоднократно пытались получить антитела искусственно. Использовались различные способы, наиболее распространенным было выделение антител из крови животных, однако степень их очистки оставалась низкой. В 1970 г. Цезарь Мильштейн и Георг Кёлер нашли метод получения антител одного типа – моноклональных. За свое открытие в 1984 г. они удостоились Нобелевской премии. Путем введения антигенов в организм мыши и выделения антитела из ее селезенки ученым удалось получить отдельно выделенные антитела, которые клонировались, образуя многочисленные копии самих себя. Однако такие клетки жили очень недолго, и только благодаря их гибридизации с клетками раковой опухоли удалось получить долгоживущие самоконирующиеся антитела – гибридомы. В настоящее время активно исследуется их получение другими способами (Schirhagl *et al.* 2012), а также создание хеморецепторов (Dickert *et al.* 2001). Антитела уже широко используются в тестах на беременность, в диагностике многих заболеваний, в лабораторных опытах.

Мы предполагаем, что в ходе завершающей фазы кибернетической революции удастся добиться заметных успехов в создании искусственных антител и их приживления в организме. Безусловно, успех в создании искусственных антител приведет к прорыву в медицине. Их перспективы огромны – в профилактике и лечении многих тяжелых болезней, предотвращении отторжения пересаженных органов и др. Это позволит сделать процесс протекания заболевания более управляемым, подавить и по возможности устранить заболевание. Продвижение в создании и приживлении искусственных антител будет означать значительный рост возможностей управлять влиять на прежде недоступные контролируемому вмешательству процессы.

Управление запрограммированной гибелью клеток (апоптозом) – один из перспективных способов победить сложные заболевания, в том числе рак. Исследования в этом направлении ведутся еще с 60-х гг. XX в. Они показали, что часто гибель некоторых клеток осуществляется в строгом соответствии с предначертанным планом. Так, у микроскопического червя нематоды эмбрион перед рождением из яйца состоит из 1090 клеток, но затем часть из них погибает, оставляя взрослый организм ровно с 959 клетками (Raff 1998; Ridley 1996; Ридли 2011). Механизм апоптоза связан с работой сигнальных молекул и специальных рецепторов, которые принимают сигнал, запускают процессы морфологических и биохимических изменений и в итоге ведут к гибели клетки.

Обретение возможности давать клеткам, провоцирующим заболевание, команду о самоуничтожении способно сделать борьбу с заболеванием управляемой. Кроме того, это обеспечивает быстрое выздоровление без длительного этапа реабилитации, необходимого после операционного вмешательства, химиотерапии или облучения (это пример экономии энергии, сил и времени больного в будущем). Также и наоборот, отключение механизма самоуничтожения клеток поможет спасти организм от некоторых заболеваний и, возможно, управлять процессом старения.

Мы предполагаем, что в ходе завершающей фазы кибернетической революции медицина сумеет продвинуться в этом направлении, а на зрелых этапах научно-кибернетического принципа производства – контролировать его. Как и в случае с искусственными антителами, это соответствует характеристикам продвижения в область создания самоуправляемых систем: воздействию на их ключевые элементы и выбору оптимальных режимов в рамках конкретных целей и задач и др.

Непрерывный мониторинг здоровья как самоуправляемая супер-система. Еще одно перспективное направление медицины и одновременно хороший пример самоуправляемых систем и развития индивидуализации – биосенсоры. Это электронные регистрирующие устройства, в которых используется биологический материал (ферменты, клетки, антитела). Биосенсоры способны трансформировать биологическую энергию в элек-

трическую. Они активно применяются сегодня в медицине для самых различных анализов: содержания метаболитов, гормонов и т. д. Уже используются биосенсоры, позволяющие контролировать изменения организма во время операций. Бытовой пример биосенсора – глюкометр, прибор для измерения уровня глюкозы в крови. Биосенсоры также применяются для измерения физической нагрузки. Они используются в производстве для измерений различных параметров: составов смесей, обнаружения токсинов, ядовитых газов и др. Разрабатываются биосенсоры и нанороботы, которые, например, способны отслеживать распространение вируса в крови в онлайн-режиме (Cavalcanti *et al.* 2008). Несложно представить, что в будущем биосенсоры могут стать неотъемлемой принадлежностью жизни человека, выполняя функцию постоянного сканирования состояния организма или отдельных органов и даже передавая их в медицинские центры при возникновении потенциальных угроз либо резком ухудшении самочувствия. Встроенные сенсоры позволят контролировать ход всех жизненно важных процессов, подсказывать время приема и дозировку необходимых лекарств, время занятий физкультурой и необходимую нагрузку с учетом различных обстоятельств, определенную диету и т. п.⁸ Для спортсменов биосенсоры уже сегодня являются инструментами контроля своих физиологических показателей для точного расчета нагрузки, и, вероятно, их возможности еще более возрастут. Во время операций биосенсоры будут контролировать изменение нужных процессов и подсказывать врачу ход ее проведения. Реальностью станут программы с индивидуальными рекомендациями конкретным людям, при этом системы смогут отслеживать существенные отклонения в показателях и давать рекомендации относительно образа жизни на короткий период и длительную перспективу.

Хорошо это или плохо? Естественно, свобода воли людей будет ограничена, тем более что сопротивляться машине иногда сложнее, чем воле человека. Одновременно сформируются определенные императивы в отношении здоровья. По сути, у каждого будет своя электронная нянька (подобно тому, как у детей древнегреческих зажиточных граждан был раб-педагог, а у детей дворян-землевладельцев – воспитатель из числа слуг). Впрочем, это может быть особенно важно для наблюдения за маленькими детьми и больными, которые находятся дома. Если к этому позже добавятся еще и двигающиеся роботы, то комфортность жизни людей существенно возрастет (но в то же время уменьшится их самостоятельность).

⁸ К этому нужно добавить данные о всевозможных природных явлениях, которые также по-разному влияют на различных людей (атмосферное давление, магнитные, солнечные бури и т. п.). С опорой на них могут быть созданы программы оптимального поведения людей для конкретного дня или в течение длительного времени и даже всей жизни.

Соответственно такие мини-системы могут быть объединены в крупную систему, включающую наблюдение за большим количеством людей, например в лечебном учреждении, санатории, гостинице и т. п. Мы уже говорили о сокращении стационарного лечения, а возможности подобного мониторинга и действия по удаленному доступу в режиме онлайн способны существенно разгрузить больницы. Нетрудно представить, что такого рода системы смогут обнаруживать потенциально опасные случаи и быстро реагировать на критические ситуации. Это хороший пример прогностики и пропедевтики проблем. Мы полагаем, что до создания подобных систем пройдет еще достаточно времени. К тому же на пути к такому мониторингу стоят сложные этические и правовые проблемы, поскольку всегда существует опасность, что наблюдающий «Большой брат» станет использовать полученные данные для собственных целей.

Прорывы в управлении человеческим организмом. Органозамещение: на пути к биотехническим системам высшего уровня. Важное направление медицины связано с регенерацией и пересадкой органов и частей человеческого тела. В настоящее время уже проводятся операции по пересадке сердца, легких, печени, поджелудочной железы, почки и т. д.⁹ Однако человеческие донорские органы – очень редкий материал, его распространение без специальных согласований во всем мире подлежит уголовному преследованию. Решение проблемы недостатка органов осуществляется по двум основным направлениям:

1. Использование части донорского органа и выращивание нового органа на основе использования стволовых клеток.

2. Возможности пересадки органов крупных животных.

Кроме того, продолжается разработка различных органозамещающих инженерных конструкций (сердце, почки и т. д.). Не исключено даже сочетание перечисленных возможностей. Уже есть возможность искусственного выращивания тканей. У пострадавших больных берут поврежденные клетки кожи или хрящей и культивируют их. Получив достаточное количество клеток, их имплантируют в разработанные материалы на основе полисахаридов и специальных подложек, которые управляют их ростом. В этих структурах клетки разрастаются как в естественной среде. Потенциал этой технологии – создание клеточной терапии и путь к регенерации тканей.

Можно прогнозировать, что прорывом в области регенерации и пересадки органов и тканей станет нахождение возможности «обмануть» механизм иммунного подавления чужеродных клеток (см. выше). В этом направлении уже идут работы. Здесь опять наблюдается возможность управления процессами путем воздействия на ключевые элементы, в дан-

⁹ Есть даже представляющиеся фантастическими планы по пересадке человеческой головы на новое тело (см.: Грицак 2003), совсем как в повести Александра Беляева.

ном случае выключая слишком бдительные системы иммунной защиты (подобно тому, как отключается болевой синдром при операции). Важным стало открытие японских ученых, которые смогли найти способ перепрограммирования функций клеток. Например, клетки кожи перепрограммировали и заменили ими больные клетки глаза. Такие клетки не отторгаются, вследствие чего данное направление является исключительно перспективным (Костина 2013).

Пойдет ли развитие в направлении киборгизации? Вышесказанное об искусственных органах и тканях обеспечит прорыв в области как искусственного создания материалов, которые до этого могла создавать только природа¹⁰, так и производства совершенно новых материалов, что расширит внедрение в человеческий организм небιологических элементов. Таким образом, мы двинемся по пути развития самоуправляемых систем нового типа, которые будут иметь в качестве составных частей элементы разной природы: биологической и технической.

Однако надо отдавать себе ясный отчет, что это фактически означает не только создание нового направления в медицине, но и прямое движение в направлении **киборгизации человека** и создание транскибернетических систем (то есть систем, органично совмещающих в себе характеристики элементов разной природы). Естественно, что это вызывает определенную и обоснованную тревогу. С другой стороны, расширение возможности не просто долгой, но активной жизни вряд ли осуществимо без значительной помощи ослабевшим в результате старости и других причин органам чувств и частям тела. В конце концов, очки или контактные линзы, искусственные зубы, пломбы и кости, слуховые аппараты, искусственные кровеносные сосуды, сердечные клапаны и т. п. позволяют жить и работать сотням миллионов людей, которые от этого не перестают быть людьми. То же самое справедливо и в отношении более сложных систем и функций. Однако мы полагаем, что всякого рода идеи относительно того, что когда-нибудь человеческое тело будет полностью заменено небιологическим материалом, а от человека останется только мозг или поддерживающие сознание органы, являются фантазиями чистой воды. И они никогда не исполнятся при любом развитии техники (см. о некоторых таких фантазиях: Рыбалкина 2005: 333 и др.). Люди, предлагающие такие решения, то есть замену якобы менее долговечного и удобного биологического материала сугубо техническими решениями (вроде тех, чтобы заменить кровяные тельца триллионами нанороботов и т. п.), в своих прогнозах пытаются использовать устаревшую логику, которая в качестве на-

¹⁰ Это можно рассматривать как одно из направлений в области создания искусственных материалов, не менее, а скорее более важное, чем создание искусственной пищи. Впрочем, если удастся продлить человеческую жизнь за счет различных способов, то стоит позаботиться и о том, чем человек будет питаться.

учной фантастики или «страшилки» была в ходу несколько десятков лет тому назад: замены биологических организмов техническими. Современная логика научно-технического прогресса, в том числе новейшие достижения биоинженерии, показывает движение именно к синтезу биологических форм и технических решений в единой системе. Вряд ли имеется надобность заменять биологические механизмы, прошедшие испытания отбором в течение многих миллионов лет, техническими решениями. А нужно двигаться по пути «ремонта», улучшения, развития самоуправляемости и помощи биологическим механизмам за счет тех или иных технических решений.

Человеческий мозг очень тесно связан с телом и органами чувств, большинство его функций основаны на управлении телом, что не предполагает его полноценной работы вне биологической основы. Способность науки и медицины к замене изношенных органов будет повышаться, но биологическая основа человека всегда будет и должна преобладать. Если можно помогать организму различными способами, в том числе активизируя его иммунную систему, генетические возможности, блокируя или замедляя процесс старения и т. п., гораздо правильнее сохранять его биологическую основу. Как бы там ни было, в ближайшие десятилетия в процессе киборгизации возможны довольно радикальные прорывы, но все же он не пойдет чрезмерно далеко.

В настоящее время уже созданы установки, позволяющие парализованным больным говорить, писать и даже работать с компьютером, как, например, делает известный ученый Стивен Хокинг. Нейрохирурги из Пенсильванского университета (University of Pittsburgh School of Medicine) совершили настоящее чудо благодаря чипу, внедренному ими в мозг пациента Тима Хеммеса. Этот молодой человек, потерявший в аварии руку, может теперь управлять бионическим протезом с помощью силы мысли. Протез снабжен специальным компьютером, переводящим нейронные импульсы из головного мозга в заданное действие (Moss, Cumbo 2012). Мировые СМИ активно обсуждали новость о пересадке электронного протеза итальянскими и шведскими хирургами 22-летнему барабанщику Робину Экенштаму, потерявшему руку в результате лечения онкологического заболевания.

Развитие идет не только по пути внедрения электронных систем в биологические, но и усовершенствования механических протезов, а также микропротезов.

Например, определенным переворотом в медицине стала разработка учеными Стэнфордского университета (США) искусственной роговицы глаза. Столь крупное достижение стало возможным благодаря совместным исследованиям в области химии, нанотехнологии, биологии и медицины (что характерно для сложных технологий кибернетической революции).

Таким образом, едва ли не наибольшую пользу из развития медицины и киборгизации смогут извлечь люди с ограниченными возможностями, особенно инвалиды, которые смогут в значительной степени компенсировать свои недостатки.

Усовершенствования естественных способностей человека. Важно отметить, что пока все эти технологии направлены на восстановление утраченных функций человека. Это не исключает того, что в будущем в данном направлении откроется возможность продвинуться и в плане усовершенствования естественных физических и интеллектуальных способностей сверх отпущенного природой. Однако в реальности это может произойти не раньше конца XXI в. Возможно, процесс здесь пойдет так же, как и в области пластической хирургии. Сначала она была создана для восстановления поврежденных тканей, но затем стала целой индустрией красоты, с помощью которой лицу и телу придают самые разные формы.

Генная терапия – перспективная форма коррекции организма. Отдельным направлением современной медицины выступает генная терапия (генотерапия). Значительный вклад в развитие генотерапии сделал проект «Геном человека», цель которого – расшифровка последовательности ДНК человека (Wgown 2000). Однако путь от структуры генома до понимания его функций огромен, и наука находится только в самом его начале. На исследования в области генотерапии ведущие страны выделяют сотни миллионов долларов.

Генная терапия соединяет в себе целый комплекс характеристик кибернетической революции, в том числе расширение возможностей *выбора оптимальных режимов в рамках конкретных целей и задач*. Исторически генная терапия нацеливалась на лечение наследственных генетических заболеваний. Однако в настоящее время генную терапию рассматривают уже как потенциально универсальный подход к лечению широкого спектра заболеваний, начиная от наследственных и заканчивая инфекционными.

Различают *фетальную генотерапию*, при которой чужеродную ДНК вводят в зиготу (оплодотворенную яйцеклетку) или эмбрион на ранней стадии развития – при этом ожидается, что введенный материал будет передаваться по наследству, и *соматическую генотерапию*, при которой генетический материал вводят только в соматические (то есть неполовые) клетки, и он не передается половым.

Существует и третий подход – активация собственных генов организма с целью полного или частичного преодоления действия мутантного гена. Яркий пример такого подхода – использование гидроксимочевины для активации синтеза гемоглобина F у больных с серповидноклеточной анемией и талассемией.

Генотерапия может стать примером индивидуализации технологий и точечного воздействия на процессы. Каждому пациенту на основе его генетических данных будут подбирать наиболее подходящее лечение, а также при необходимости исправлять дефектные гены. При этом вполне возможен запуск нужных генов и отключение ненужных в организме взрослого человека. Предположительно, генотерапия проявит себя раньше всего в спортивной медицине, поскольку, во-первых, может стать новым орудием в попытках фармакологических компаний уйти от контроля антидопинговых комитетов, а во-вторых, в большом спорте врожденных генетических данных становится уже недостаточно для рекордного результата.

Также возможно использование генотерапии при выборе особенностей будущего ребенка (цвета его глаз, кожи и т. д.). В будущем не исключено даже появление «младенца на заказ» (Фукуяма 2004). То есть качества ребенка будут подбираться родителями еще до его рождения. Имеется в виду, что генетики, возможно, все-таки найдут «гены» таких свойств, как благородство, агрессивность или самооценка и даже уровень интеллекта, и с помощью этого знания создадут «улучшенный» вариант того же ребенка. В чем-то такое генетическое улучшение будет напоминать вариант улучшения лица или фигуры путем пластической операции. Иными словами, невозможно будет сделать из любого ребенка гения или чемпиона, но не исключено, что улучшить его данные на определенное количество процентов станет возможным. Аналогично тому, как возможно сегодня путем педагогических технологий и подбора условий «подтянуть» посредственные данные (спортивные, интеллектуальные и иные). В известной мере такое улучшение будет также напоминать то, что делается в сельскохозяйственной биотехнологии.

Изменение репродуктивных возможностей человека – особая важная область медицины. Все больше сужается круг не поддающихся лечению недугов, в результате которых люди не могут иметь детей. Тем не менее для части таких пациентов единственная возможность – использовать варианты искусственного либо внематочного оплодотворения. Кроме того, с развитием медицины растут желания иметь детей после прохождения детородного возраста. Стоит отдельно отметить технологии, направленные на искусственное выращивание плода вне матери. Становится возможной трансплантация репродуктивных органов. Исследователи работают над созданием искусственной матки, которая может быть пересажена женщине с нарушенной способностью к деторождению, либо даже мужчине, что в принципе может коренным образом изменить понятие пола (McKie 2002), создав новые этические сложности. В Италии уже удачно прошли эксперименты с выращиванием искусственной матки и пересадкой ее пациентке.

Перспективное направление в медицине – замедление старения организма. Научную основу этого долго искали, и наконец, она, возможно, стала осязаемой после открытия генетической структуры особых телец клеток, необходимых для деления, – *теломер*. Выяснилось, что каждый раз после копирования хромосомы число теломер на ее концах уменьшается. Это одна из причин, почему клетки стареют и умирают по достижении организмом определенного возраста. Возможно, по этой же причине стареет и наше тело, хотя по данному вопросу между учеными продолжаются жаркие споры (Slagboom *et al.* 1994). За открытие защитных механизмов хромосом от концевой недорепликации с помощью теломер и теломеразы в 2009 г. присуждена Нобелевская премия по физиологии и медицине Элизабет Блэкберн, Кэрол Грейдер и Джеку Шостаку.

Вполне вероятно, что генетическими методами удастся значительно продлить жизнь человека. Динамику увеличения средней продолжительности жизни мы отчетливо видим в настоящее время, она достигла в некоторых странах 80 и более лет. И она, по нашему мнению, будет расти. Правда, в модернизационной фазе кибернетической революции наибольшим будет рост продолжительности жизни в развивающихся и среднеразвитых странах, где она значительно отстает от продолжительности жизни в развитых. В последних же пока продвижение будет не особенно значительным. Прорыв в области медицинских технологий произойдет несколько позже, как мы говорили, в 2030–2050-е гг. Тогда, вероятно, будет наблюдаться новый рывок и в плане увеличения продолжительности жизни, примерно на 5–15 лет. Продление жизни и особенно максимально долгое сохранение ее качества достаточной активности человека) в аспекте сказанного о характеристиках революции управляемых систем означает дальнейшее развитие управляемых систем, индивидуализации, выбора оптимальных режимов, огромную экономию (в том числе эмоциональную) энергии и уникального опыта и мировосприятия. Ведь каждый человек в течение жизни приобретает бесценный опыт. Можно также сказать, что это одна из возможностей сохранения опыта предшествующих поколений (в условиях ускорения технологического развития и вследствие этого неизбежного отказа от многого из накопленного предыдущими поколениями багажа) за счет личного опыта долгожителей и личного контакта с ними их потомков.

Раздел 3. БИОТЕХНОЛОГИИ В КИБЕРНЕТИЧЕСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ

Определение. Биотехнология – понятие широкое и неоднородное, более того, понимание его 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 рекомби-

нантной ДНК и культур клеток, выращиваемых *in vitro*, биотехнологию стали отождествлять с генной инженерией, в настоящее время эти два понятия часто даже используют как синонимы. Сейчас известно несколько десятков разных определений биотехнологии (см., например: Блинов 2003). 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). Мы понимаем *биотехнологию как совокупность научно-промышленных методов, использующих живые организмы и биологические процессы для производства различных продуктов.*

Основные направления современной биотехнологии: биотехнология пищевых продуктов, сельского хозяйства, препаратов и продуктов для промышленного и бытового использования, лекарственных и других медицинских препаратов, защита окружающей среды от загрязнения и др.

3.1. История биотехнологии 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, укус используются с древнейших времен. Первые научные предпосылки биотехнологии заложил Луи 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 Карл Эреке ввел термин «биотехнология».

Исследователи (Глик, Пастернак 2002) 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. Этот период дополнительно делится на две 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; и с 1940 по 1970-е гг., когда биотехнология становится уже заметной отраслью промышленности; 3) с 1970-х гг. по настоящее время – период современной биотехнологии, внедрение научных разработок в биотехнологическое производство.

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.

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 биотехнологическим 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.

3.2. Начальная фаза кибернетической революции

3.2.1. Биотехнология становится крупной отраслью промышленности

Согласно нашей концепции, 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 биотехнологий применялись очень широко¹¹. В первые десятилетия

¹¹ 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 как добавки 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).

после Второй мировой войны было организовано крупномасштабное производство аминокислот, кормового белка одноклеточных (из нефти и отходов целлюлозно-бумажной промышленности), стероидов¹², 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. Интактные клетки микроорганизмов стали широко использоваться для получения лекарственных веществ стероидной природы, были организованы крупные производства вакцин (Волова 1999). Производство лекарственных препаратов стало успешным, а также очень прибыльным направлением (Тейлор и др. 2004), поэтому туда устремились капиталы и научные силы. Количество медикаментов, полученных биотехнологическим методом или так называемой «красной биотехнологией», начало неуклонно расти. Биотехнология, повторим, стала мощным подспорьем сельского хозяйства, с помощью ее методов производят корма, добавки, витамины, удобрения, осуществляют защиту от вредителей¹³. С ее помощью также получают биоудобрения, аминокислоты, 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, – одна из ключевых характеристик кибернетической революции.

3.2.2. Фундаментальные открытия в области биотехнологий

Эти открытия связаны в первую очередь с достижениями в области исследования механизма передачи наследственной информации. В 1953 г. 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. Это открывало 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 сыпа-

¹² Стероиды – вещества животного, реже растительного происхождения, обладающие высокой биологической активностью. При трансформации стероидов с помощью микроорганизмов получают нужные продукты, в том числе гормоны.

¹³ 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.

лись как из рога изобилия¹⁴. Но, естественно, 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.

Приведем некоторые из них:

– 1973 г. – Г. Бойер и С. Коэн положили начало технологии рекомбинантных ДНК;

– 1975 г. – Г. Кёлер и С. Мильштейн разработали технологию получения моноклональных антител;

– 1978 г. – фирма Genetech выпустила человеческий инсулин, полученный с помощью *E.coli* (кишечной палочки);

– 1981 г. – поступили в продажу первые автоматические синтезаторы ДНК;

– 1982 г. – к применению в Европе разрешена первая вакцина для животных, полученная по технологии рекомбинантных ДНК;

– 1983 г. – для трансформации растений применены гибридные Ti-плазмиды;

– 1988 г. – создан метод полимеразной цепной реакции (ПЦР).

В результате указанных и неуказанных открытий генетическая инженерия становится мощным направлением биотехнологии. Качественно новый уровень развития биотехнологий с 1970-х гг. означал, что в рамках кибернетической революции они уже 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 и ветеринарию), пищевая и химическая промышленность, фармацевтика и медицина.

3.3. Биотехнология в модернизационной фазе кибернетической революции

1990–2000-е гг. ознаменовались очень крупными успехами для биотехнологии как отрасли промышленности¹⁵. В этот период укрепляются на-

¹⁴ Достаточно снова 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.

¹⁵ 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).

правления, связанные с генетической модификацией, которые зародились на предыдущей фазе. Клонированы организмы, с помощью генетических модификаций начинают лечить ряд болезней. Наряду с производством лекарств, биодобавок к кормам и т. п. производство ГМО стало уже очень значимым сегментом сельского хозяйства, рост цен на энергоносители привел к быстрому росту производства биотоплива (в том числе из ГМО-продуктов).

Неудивительно, что биотехнологии рассматриваются как наиболее перспективная отрасль, которая может стать локомотивом нового инновационного рывка¹⁶.

О значении направления свидетельствует расширение спектра применения его (и связанных с ним) технологий и достижений в разных отраслях. Хотя в этом отношении биотехнология, конечно, уступает ИКТ, однако список этот быстро растет. Так, в пищевой промышленности практически нет направлений, в которых бы она не применялась¹⁷. С биотехнологией связаны химическое производство (в частности, полисахариды, биodeградируемые полимеры, биокатализ, а также создание новых материалов, например, биопластики), энергетика, сельское хозяйство; городское хозяйство (например, в переработке мусора), отрасли, связанные с длительным хранением продукции; медицина и фармакология; нанотехнологии; косметология; военная отрасль. Наконец, биотехнологии активно входят в быт широких масс людей, применяющих биодобавки и витамины, использующих в диете специальные продукты, применяющие особого рода косметические продукты и т. д.

Безусловно, важным источником роста сферы применения биотехнологий (как и многих других направлений) стало активнейшее использование информационных технологий в производстве и научных методах, в результате чего производительность, точность и т. п. параметры увеличились в значительной степени.

Перспективы биотехнологии велики. Поскольку они тесно связаны с микробиологией, а микроорганизмы присутствуют везде, то даже в этом отношении сфера применения биотехнологий будет безгранична (от космических нужд до добычи и переработки полезных ископаемых). Наконец, биотехнологии станут одним из главных фронтов, на которых раз-

¹⁶ Наряду с другими. Так, довольно распространена, например, аббревиатура «NBIC-конвергенция», где *N* расшифровывается как нанотехнологии, *B* – как биотехнологии, *I* – как информационные технологии, а *C* – как когнитивная наука (см., например: Lynch 2004; Dator 2006).

¹⁷ При этом возможности создания самых разных модификаций продуктов, вариативность композиции их пищевых свойств, состава, степени натуральности и т. п. стали практически безграничными. Этим часто пользуются недобросовестные производители. Не исключено, что в будущем станут доступны для свободной продажи приборы, способные измерить степень натуральности, экологичность продуктов, содержание в них ГМО и т. п.

вернется завершающая фаза кибернетической революции и последующие эпохи (2030–2070-е гг.).

3.4. Характеристики кибернетической революции в развитии и применении биотехнологий

Автоматизация перерастает в самоуправление и саморегуляцию. 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 и 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 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 геной инженерии стремительно совершенствуется, что является одним из многих примеров конвергенции направлений кибернетической революции¹⁸. Сегодня специалисты, не отходя от компьютера, 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 примером также и миниатюризации (Oxford Nanopore Technologies 2013).

Крайне важно, что уже сейчас можно говорить о реализации принципов саморегуляции на уровне генома. В частности, вместе с полезным геном, например солеустойчивости в растениях (Гринин и др. 2010), встраивают специальные гены-контролеры – промоторы, которые запускают нужный ген только в определенных условиях (повышенное содержание соли в почве). Таким образом, налицо прежде не существовавшая, самоуправляемая (без участия человека в самом процессе, но контролируемая им) биологическая система, которая, однако, работает так, как нужно лю-

¹⁸ Развитие программного обеспечения также стремительно происходит и в других направлениях кибернетической революции: нанотехнологии, медицине и, конечно же, в информационных технологиях.

дям¹⁹. Словом, мы видим прообраз самоуправляемых и саморегулируемых (самонастраиваемых) биологических систем, которые благодаря биотехнологиям в будущем станут широко и активно использоваться едва ли не во всех сферах жизни.

В биотехнологиях широко применяется саморегуляция также на уровне клетки (то есть более высоком, чем ДНК). Например, используются принципы обратной связи субстрата и фермента, известной как модель оперона, за которую Ф. Жакоб и Ж. Моно в 1965 г. получили Нобелевскую премию²⁰.

О возможностях создания в будущем саморегулируемых биологических (и экологических) систем достаточно крупного 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, комары, несущие ген бесплодия, внедряются в дикую популяцию, распространяя этот ген при скрещивании и таким образом сокращая численность насекомых (Ткачук и др. 2011).

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

Биотехнология позволяет получать все новые материалы. 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 шаг в направлении создания в будущем саморегулирующихся и самоочищающихся экологических систем. Таким образом, основная цель произ-

¹⁹ Уже 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).

²⁰ 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.

водства биопластика – сохранение экологии, уменьшение производства товаров из невозобновляемых ресурсов и сокращение выбросов диоксида водорода в среду. Ассортимент продукции, сделанной из биопластика, уже очень широк. В период с 2000 по 2008 г. мировое потребление био-разлагаемых пластиков на основе крахмала, сахара и целлюлозы увеличилось на 600 % (Ceresana Research 2011). Однако производство пластика не из нефтепродуктов составляет пока только 1 %. Эксперты считают, что производство биопластиков к 2020 г. будет составлять 3,5–5 млн тонн, или примерно 2 % от общего производства пластиков (Лешина 2012). Но даже если оно достигнет, как надеются некоторые, 5 %, все же говорить о массовом выпуске пока не приходится. 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.

Индивидуализация в биотехнологиях. Генетическая инженерия является особенно ярким примером такой характеристики кибернетической революции, как **индивидуализация**. В развитии биотехнологий индивидуализация связана прежде всего с появлением возможности изменять геном и получать новые свойства организма. На этом в дальнейшем будет построен учет индивидуальности каждого человеческого организма (а возможно, и не только человеческого, а например, домашних питомцев – собак, кошек и др.) в плане формирования его образа жизни, контроля над здоровьем, улучшения работы организма и т. п.

Любимые объекты животной генетической инженерии – мыши. Впервые трансгенная мышь была получена Дж. Гордоном с сотрудниками в 1980 г. В пронуклеус оплодотворенного одноклеточного эмбриона микроинъекцией был введен ген вируса простого герпеса; и этот ген работал во всех соматических клетках мыши. Полученные признаки успешно передавались потомству. Позже таким образом были инъецированы гены интерферона и инсулина человека, ген вируса лейкемии мышей и т. д. Несмотря на то, что эффективность метода составляет около 10 %, с его помощью получены генно-модифицированные крысы, кролики, овцы, свиньи, козы, коровы и другие млекопитающие.

Другой пример индивидуализации в биотехнологии – клонирование.

Клонирование само по себе весьма распространенное явление в природе. Одним из первых опыты по клонированию провел Георгий Лопашов в 1948 г., который доказал, что если поместить в яйцеклетку клеточное

ядро другой особи, набор генов эмбриона будет таким же, как у донора. На практике подтвердить гипотезу удалось только спустя 20 лет, когда удалось клонировать мышь. Правда, она быстро погибла от заболеваний иммунной системы. С тех пор удавалось клонировать свиней, овец, коров и собак. Но называть эти эксперименты по-настоящему удачными еще нельзя.

Различают полное и частичное клонирование организмов. Клонирование целого организма, естественно, вызывает наибольший интерес у публики и наибольшие споры о необходимости и допустимости такого рода исследований. 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 процесса²¹. Следует заметить, что результаты клонирования из-за стремления к сенсационности сильно преувеличены. Так, овца Долли состарилась в два раза быстрее сородичей. В результате животное усыпили. Тысячи экспериментов проводились на различных животных, в том числе более сотни – на человекообразных обезьянах, но положительного эффекта пока нет.

Гораздо более широкие возможности для развития и внедрения на уровне коммерческого производства имеет терапевтическое клонирование, о котором будет более подробно рассказано в разделе о медицине.

Экономия ресурсов и энергии является одной из главных целей и результатов биотехнологии. Важные возможности в плане экономии ресурсов связаны с обретением способности влиять на генетическую организацию живых существ. На этом в настоящий момент построена сельскохозяйственная («зеленая») биотехнология, которая стала уже частью начальной фазы кибернетической революции. Прорыв в этой области связан с *тотипотентностью* – способностью растений образовывать полноценный организм из одной клетки. С помощью переноса нужного гена в растение получают, например, устойчивый к колорадскому жуку картофель, снижают восприимчивость к засухе, холоду и другим стрессам (Гринин и др. 2010). Новые сельскохозяйственные технологии имеют большое значение для развивающихся стран. Например, генетически модифицированные, устойчивые к вредителям хлопчатник и кукуруза требуют применения инсектицидов в значительно меньших объемах, что более экономно и экологично. Индивидуализация прослеживается и в ген-

²¹ 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 перенесется ее возраст и накопленные изменения. К тому же показано, что генетический материал родителей не просто сливается, а сложно взаимодействует, навязывая друг другу свои сильные гены. Очевидно, что от этого процесса значительно зависит правильное формирование будущего организма.

ной инженерии животных, которая развивается несколько медленнее, но уже сейчас и в перспективе имеет колоссальное значение для сельского хозяйства и медицины (с помощью генной инженерии можно увеличить выход молока, улучшить качество шерсти и т. п.).

Увеличение и удешевление производства пищевых ресурсов – глобальная задача человечества 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). Именно биотехнологии могут внести огромный вклад в ее решение. Уже сегодня с их помощью удалось сделать очень много в отношении роста объемов производства за счет повышения урожайности, устойчивости растений к стрессам, приспособленности к местным условиям путем создания новых и усовершенствования уже созданных ГМО, производства значительного количества искусственных питательных веществ, в частности белков.

Платформой для трансгенных манипуляций стало открытие удивительного сходства генома практически всех живых существ. Схематично методы генной инженерии можно описать как вырезание участка ДНК с интересующим геном у одного организма и его перенос 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 настоящее время это вызывает серьезные опасения у общества в связи с широким развитием генетически модифицированных организмов. Однако, как это часто бывает, при популяризации научные понятия сильно искажаются. Термин ГМО, пугающий большое количество людей, практически стал синонимом трансгенов. Однако трансгеноз – только один из многих методов изменения генетического состава организмов. Другие, такие как гибридизация, полиплоидия и др., 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 гено-модифицированными и часто из-за недостаточной компетенции чиновников попадают под несправедливые запреты.

Несмотря на различные санкции, объемы производства ГМО в продукции растениеводства быстро растут. 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 (подсчитано, что в случае полного принятия биотехнологии во всех странах

к концу периода 2015 г. мировая прибыль в пересчете на ВВП выросла бы на 210 млрд долларов США в год [Камионская 2011]).

Связанные с ГМО проблемы, реальные и мнимые, требуют особого рассмотрения. Однако в сравнении с проблемой голода или недоедания они кажутся менее важными. Несомненно, что данное производство будет расти (тем более в связи с производством биотоплива), поскольку это единственный способ решить продовольственную проблему. Биотехнологическое производство дает более дешевый пищевой продукт, повышает урожайность в местах, бывших ранее непригодными для возделывания сельскохозяйственных культур. Получение новых признаков у сельскохозяйственных животных и растений значительно экономит время и затраты на долгую селекцию.

В целом, как уже было сказано, успехи в геномной инженерии станут одним из наиболее прорывных направлений будущей революции.

Биотопливо. 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 (80 %) биомассы для биотоплива берется из отходов леса (Kopetz 2013). А в связи со стремлением для поддержания экологического баланса планеты сократить использование древесины, это может сильно отразиться на данном источнике альтернативной энергии.

3.5. Прогнозы развития биотехнологий на завершающей фазе кибернетической революции

3.5.1. Развитие до начала завершающей фазы кибернетической революции (2010–2020/30-е гг.)

Модернизационная фаза, как уже было сказано, характеризуется двумя важнейшими тенденциями: 1) мощным распространением новых технологий с одновременным их усовершенствованием; 2) усилением общественной борьбы вокруг необходимости изменений в тех или иных сферах в связи с внедрением этих технологий. Для того чтобы началась завершающая фаза производственной революции, развитие технологий на модернизационной фазе должно достичь очень большого разнообразия и «плотности». С учетом того, что биотехнологии – это инновационные отрасли, любые страны, которые хотят вырваться вперед, будут обязаны так или иначе развивать их. Отметим, что и международные документы,

в частности принятые Конференцией ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 3–14 июня 1992 г.), возлагают довольно большие надежды на биотехнологии.

Следовательно, с одной стороны, мы будем наблюдать очень широкое вторжение биотехнологий в нашу жизнь: в систему питания, использования различных биологически активных добавок, влияния на наше тело (через массовое распространение соответствующей информации, различные отрасли медицины, в частности косметическую) и т. д. Должны быстро развиваться как уже ставшие реальностью отрасли (выращивание генетически модифицированных растений, влияние на производительность домашних животных, производство биотоплива), так и менее распространенные сегодня технологии, в частности в создании биоматериалов.

С другой стороны, 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. 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).

3.5.2. Начало завершающей фазы кибернетической революции и развитие научно-кибернетического принципа производства

Теперь можно, исходя из сегодняшних тенденций и общего смысла развития революции, наметить **будущие вехи развития биотехнологии** в период завершающей фазы кибернетической 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. Нам представляется, что на самом первом этапе 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.

Достижение самоуправляемости системы без вмешательства человека. Управляемость повысится радикально в целом ряде важных систем, связанных с биотехнологиями. Так, вероятно, при трансформации в организм будут переносить не отдельный полезный ген, а целый комплекс генов, из которых в зависимости от условий окружающей среды будут включаться нужные. Это будет исключительно важно в случае существенных колебаний климата, которые вполне вероятны. Станет возможным подбирать наиболее оптимальные вариации семян и рассады для уникальной комбинации погодных условий и территории. Соответственно будут созданы огромные базы данных таких сортов и вариаций. Не исключено, что в будущем весь процесс получения трансгенного растения будет проходить без участия человека, то есть станет самоуправляемым.

Можно предполагать, что к концу фазы управляемых систем (а возможно, и ранее) сельскохозяйственные биотехнологии будут уже столь разработаны, что начнется индивидуальная приспособляемость модифицированных продуктов даже к небольшим колебаниям местных условий. Иными словами, можно будет создавать вариации растений даже для отдельных оранжерей, парников или участков по заказу производителей или коллекционеров. Фермеры смогут с помощью программ подбирать индивидуальные корма и лекарства, заказывать их по Интернету. Даже обычный человек сможет придумать себе гибрид комнатного растения, подходящий под интерьер, и заказать его изготовление и доставку. Таким образом, индивидуализация достигнет новых уровней.

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 сторону работы с меньшим участием человека.

Решение городских и некоторых экологических проблем. 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 развития 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, могут быть проблема очистки воды, утилизации мусора, ликвидации бродячих животных (этому будет способствовать внедрение генов бесплодия или что-либо подобное). Уже сейчас для очистки воды применяются микроорганизмы, с их помощью также получают биогаз при утилизации мусора.

Но в будущем эти и им подобные проблемы будут решены достаточно радикально именно на уровне создания 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, что обеспечит лучшие условия для отдыха и бизнеса.

Прорыв в области экономии ресурсов. Биотехнология решит многие глобальные вопросы, такие как удешевление производства медикаментов и продуктов питания, в том числе и экологически чистых, тем самым заметно расширив их производство. Решение продовольственной проблемы пойдет разными путями, в частности за счет создания в массовом количестве пищевого белка, нехватка которого в рационе остро ощущается во многих обществах (в настоящее время в основном производится кормовой белок). Уже сейчас есть результаты и по производству пищевых белков или, например, искусственного мяса. Но пока такое производство слишком дорого. Сейчас один грамм лабораторного мяса стоит 1000 долларов (Загорский 2012), но это обычный путь от лаборатории до массового дешевого производства.

Создание новых материалов. Возможность создания самоуправляемых и самонастраиваемых систем с помощью биотехнологий, в частности генетических манипуляций, открывает важное направление в области создания новых материалов с заданными свойствами. Это в потенциальности позволит заменить в той или иной мере производство естественным путем технологического сырья, получаемого от домашних животных, например кожи. Появляются соответствующие проекты уже и сегодня. 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 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-био-принтера 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 теплой одежды.

Большие перспективы открываются и в области создания новых материалов для медицины, о чем мы уже говорили выше.

Раздел 4. НАНОТЕХНОЛОГИИ

4.1. Определение и история развития направления

Определение и параметры. Человечество с давних пор использует наноматериалы, тогда как представления о нанотехнологиях появились сравнительно недавно. Теперь наличием наночастиц объясняют особые свойства знаменитых материалов, изготавливаемых в древности, таких как различные эмали, красящие материалы, дамасская сталь и т. п.

Нанотехнологии – широкое понятие, которое весьма условно можно определить как *междисциплинарную область фундаментальной и прикладной науки, обосновывающую и разрабатывающую практические методы исследования, анализа и синтеза, а также технологии и методы производства наноматериалов путем контролируемого манипулирования отдельными атомами и молекулами.* Из-за масштабности понятия НТ возникает проблема не только их определения, но и классификации нанопродукции, для уточнения которой в Еврокомиссии даже была создана специальная группа.

Сейчас в техническом комитете ISO/TK 229 под нанотехнологиями подразумевается следующее (ISO 2005):

- знание и управление процессами, как правило, в масштабе 1 нм, но не исключающее масштаб менее 100 нм в одном или более измерениях;
- использование свойств объектов и материалов в нанометровом масштабе, которые отличаются от свойств свободных атомов или молекул, для создания более совершенных материалов, приборов, систем, реализующих эти свойства.

Таким образом, главное в нанотехнологиях – использование частиц не больше определенного размера (до 100 нанометров в одном измерении; один нанометр равен одной миллиардной доле метра, или 10^{-9} м).

Почему популярность получили именно наночастицы? На этом уровне ярко проявляется фундаментальное свойство материи – реализация в различных ее системах часто диаметрально противоположных свойств. Например, на макроуровне золото является проводником, а на наноуровне – изолятором. Частицы некоторых материалов размерами от 1 до 100 нано-

метров проявляют очень хорошие каталитические и адсорбционные свойства, другие материалы демонстрируют удивительные оптические свойства. На наномасштабе изменяется отношение поверхности к объему, при этом изменяются свойства материи. В природе существуют наносистемы, например биополимеры (белки, нуклеиновые кислоты), способные организовываться в особые структуры, приобретая новые свойства.

Особенность нанонауки в том, что она берет курс на работу непосредственно с атомами – составными частицами материи (один нанометр равен условной конструкции из десяти атомов водорода, выстроенных в ряд). В настоящее время ученые уже научились управлять отдельными атомами и объединять их в блоки. Другими словами, в перспективе, чтобы получить зубочистку, не нужно пилить дерево, теоретически можно заставить атомы «построить» ее. Такой подход открывает фантастические возможности создания новых материалов с заданными свойствами. Перспективу этого направления озвучил нобелевский лауреат Ричард Фейнман в своем докладе «Там, внизу, много места», сделанном им в 1959 г. в Калифорнийском технологическом институте на ежегодной встрече Американского физического общества. Ученый предположил, что возможно механически перемещать одиночные атомы при помощи манипулятора соответствующего размера, по крайней мере, такой процесс не противоречил бы известным физическим законам. Фейнман предложил способ поатомной сборки объектов, что позволило бы при производстве сократить расходы на материал и затрачиваемую энергию. Это направление было активно поддержано наукой, началась эра открытия нанокomпозитных материалов. В настоящее время в качестве такого рода атомных манипуляторов предлагаются очень разнообразные и весьма остроумные средства и силы, но до решения вопроса еще очень далеко.

4.2. Нанотехнологии как результат кибернетической революции. Рождение науки и направления

Как уже было сказано, первые практические шаги в создании нанотехнологий, как и идейное осмысление этого направления были сделаны в 1950-е гг. (а сам термин, по некоторым данным, впервые был употреблен в 1974 г. японским физиком Норио Танигути). Иными словами, нанотехнологии стали одним из результатов кибернетической революции. Однако довольно долго их затмевали другие важные ее результаты. Процесс быстрого практического роста интереса к нанотехнологиям начался на исходе начальной фазы кибернетической революции, в 1980-х гг., с выходом книг Эрика Дрекслера «Машины созидания: грядущая эра нанотехнологии» (“Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology”) и «Наносистемы: молекулярные машины, производство и расчеты» (“Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation”). Но наибольшее распространение термин приобрел, будучи подхваченным СМИ.

Слово «нано» стало особенно часто звучать с экранов телевизоров и мелькать на страницах газет с началом «гонки нанотехнологий». Это означало, что нанотехнологии начали рассматривать как стратегическую отрасль будущей гегемонии (наряду с другими: биотехнологиями, зеленой энергетикой и т. д.) Ее конечная задача – завоевать рынок промышленного производства новых, важных и востребованных технологий. Выигравшая ее страна может на долгие годы обеспечить себе экономический рост и развитие.

Гонка нанотехнологий началась с подачи США, которые включились в соревнование первыми. При президенте Клинтоне началась разработка первой программы Национального научного фонда США по изучению проблем нанотехнологии. Объясняя заинтересованность в развитии нанотехнологий, Клинтон, в частности, заявил: «Я выделяю 500 млн долларов в текущем финансовом году (2001. – *Авт.*) на государственную нанотехнологическую инициативу, которая позволит нам в будущем создавать новые материалы (превосходящие по характеристикам существующие в тысячи раз), записать всю информацию Библиотеки Конгресса на крошечном устройстве, диагностировать раковые заболевания при появлении нескольких пораженных клеток и добиться других поразительных результатов. Предлагаемая инициатива рассчитана, по крайней мере, на 20 лет и обещает привести к важным практическим результатам» (цит. по: Борисенко, Толочко 2008; см. также: Lane, Kalil 2007). Практически одновременно по поручению правительства аналогичную программу начали разрабатывать в Японии. Была намечена серия проектов, направленных на разработку приборов нанометрового размера, и самым значительным из них стал проект Angstrom Technology Project с объемом финансирования в 185 млн долларов. Он был рассчитан на 10 лет, в его реализации участвовали 80 фирм. Страны Западной Европы также включились в гонку и начали проводить работы в области нанотехнологий в рамках соответствующих национальных программ. В ФРГ нанотехнологические изыскания поддерживаются в основном Министерством образования, науки, исследований и технологий. В Великобритании руководство этим направлением осуществляет Совет по физико-техническим исследованиям, а также Национальная физическая лаборатория. На английском языке начинают издаваться первые специализированные журналы *Nanotechnology* и *Nanobiology*. Во Франции стратегию развития нанотехнологий определяет Национальный центр научных исследований. Там открылся клуб нанотехнологов, объединяющий ученых и промышленников различных отраслей. Все больше внимания нанотехнологиям уделяется в Китае, Южной Корее, ряде других государств, в частности в России, стартовые позиции которой в этой области считаются достаточно хорошими (Дементьев 2008).

Сейчас нанотехнология – одна из наиболее интенсивно растущих отраслей экономики.

4.3. Развитие нанотехнологий в процессе кибернетической революции

Характеристики и возможности нанотехнологий как нельзя лучше соответствуют концепции кибернетической революции, что неудивительно, поскольку они являются ее порождением. Они будут играть все более важную роль по мере ее разворачивания. Этапы развития нанотехнологий укладываются в периодизацию кибернетической революции даже лучше, чем биотехнологии и медицина.

1. Начальная фаза кибернетической революции (1950-е – начало 1990-х гг.) – период формирования направления. Условно говоря, в отношении нанотехнологий это период с 1959 г., когда Ричард Фейнман выступил с идеей о сборке из наночастиц новых материалов, до инициативы Билла Клинтона в 2000 г. Этот период характерен довольно многочисленными открытиями, которые, однако, в то время еще не получили значительного применения.

Например, Д. Н. Гаркунов и И. В. Крагельский в 1956 г. описали эффект безызносности. Они обнаружили явление самопроизвольного образования тонкой пленки меди в парах трения между бронзой и сталью у деталей самолетов. Эта пленка снижала износ и уменьшала силу трения в 10 раз и более. Толщина пленки не превышает 100 нм (подобная система работает в суставах). Это пример того, что трение представляется не только как разрушительный процесс, но в определенных условиях может быть самоорганизующимся, при этом открываются новые, неизвестные ранее свойства. В 1968 г. Альфред Чо и Джон Артур, сотрудники научного подразделения американской компании Bell, разработали теоретические основы нанообработки поверхностей (см.: Рыбалкина 2005: 21).

На этом этапе развитие нанотехнологии во многом определялось созданием устройств зондовой микроскопии и приборов, адекватных размерам направления. Эти устройства являются своеобразными глазами и руками нанотехнолога. В частности, в 1981 г. немецкие физики создали микроскоп, с помощью которого можно увидеть отдельные атомы, а в 1985 г. американские физики создали технологию, позволяющую точно измерять частицы диаметром в один нанометр.

2. Модернизационная фаза (период распространения инноваций) – это период становления «современной нанотехнологии» (1990–2020/30-е гг.). Нанотехнологии становятся областью промышленного производства, начинается нанотехнологическая гонка между странами, создаются множества программ и целые институты нанотехнологий. Резко увеличивается количество товаров на основе НТ. Растут инвестиции в исследования, наноматериалы проникают в самые различные области – технику, медицину, транспорт, аэрокосмическую и электронную промышленность и т. д.

По данным аналитиков BCC Research (2012), объем продаж продуктов нанотехнологий в 2009 г. составил 11,67 млрд долларов. Сейчас они составляют уже около 20 млрд долларов. К 2017 г. объем продаж может вырасти до 49 млрд.

3. Завершающая фаза кибернетической революции и дальнейший этап, предполагающий будущее развитие нанотехнологии (2030–2070-е гг.). На этом этапе предположительно НТ будут одной из отраслей, которые станут прорывными и интегрируются с биологией. В результате начнут бурно развиваться бионанотехнология, наномедицина, появятся самоуправляемые наносистемы.

4.4. Как проявляются характеристики кибернетической революции в развитии нанотехнологий

Создание новых материалов с заданными свойствами. Одна из важнейших задач, стоящих перед нанотехнологией, – как заставить молекулы группироваться определенным способом, самоорганизовываться, чтобы в итоге получить новые материалы или устройства. Этой проблемой занимается раздел химии – супрамолекулярная химия. Она изучает взаимодействия, которые способны упорядочить молекулы определенным способом, создавая новые вещества и материалы. Существуют различные процессы самоупорядочивания, одним из которых является электрохимическое анодное окисление (анодирование) алюминия, а именно та его разновидность, что приводит к формированию пористых анодных оксидных пленок. В настоящее время открыты различные технологии в области создания наноконструкционных конструкционных материалов с различными свойствами, например защитными, самоочищающимися, антибактериальными и т. д.

Рост самоуправляемости систем. Самоорганизация наночастиц и самоорганизующиеся процессы. Глубокая связь между свойствами нанотехнологий и ростом самоуправляемости систем обусловлена возможностью поставить процессы самоорганизации материи на службу человеку, заставив молекулы и атомы упорядочиваться определенным пространственным и структурным способом. А получение новых материалов с заданными свойствами – прямой путь к тому, чтобы заставить работать те или иные системы в заданном режиме. Неудивительно, что нанотехнологии дают яркие примеры различных самоуправляемых систем. Один из таких примеров – системы самоочистки с помощью нанопокровов. Например, самоочистка сосудов от бактерий или механизм самоочистки стекла автомобиля, обработанного специальными нанопокрытиями. Нанопокровы модифицируют поверхность таким образом, что капля воды катится по ней, собирая всю грязь, тогда как на гладкой поверхности, наоборот, капля воды, сползая, оставляет грязь на месте. Это называется

«лотос-эффект». Идея позаимствована у природы: у растения лотос листья покрыты мельчайшими восковыми выпуклостями и впадинами, так что вода стекает по ним, полностью смывая грязь.

Миниатюризация – явление, которое характерно для многих отраслей современного прогресса. Мы видим, что большинство приборов, гаджетов, профессиональных инструментов и т. д. становится компактнее и удобнее. Для ИТ миниатюризация наиболее очевидна. Современные процессоры состоят более чем из миллиарда транзисторов, но наноразмерные устройства смогут увеличить это число еще в 1000 раз. В настоящее время идет гонка в отношении уменьшения размерности технологического процесса для производства полупроводников и чипов, измеряемого в нанометрах. Некоторые изготовители перешли уже к техпроцессу в 45, 32, 28 нанометров. Компания Intel использует для планшетов и смартфонов 32 нм техпроцесс, а компания Qualcomm для производства чипов – 28 нм техпроцесс. Компания Intel начинает осваивать уже 22 нм техпроцесс. За последние десять лет размерность технологических процессов снизилась примерно втрое (с 90 нм до 32 нм). Объявляются планы о достижении в течение ближайших лет размерности до 7 или даже 5 нм. Удается ли это и можно ли благодаря такому понижению размерности добиться создания принципиально нового поколения компьютеров, пока неясно.

Нанотехнологии, энергоэффективность и экономия. Многие ИТ направлены на сокращение затрачиваемой энергии, а также на создание альтернативных источников энергии. Так, снижение размерности техпроцесса в процессорах не только увеличивает быстродействие электронных устройств и плотность размещения элементов на чипе, но и уменьшает потребление ими энергии. А, например, «умное остекление» помещений способно реагировать на изменение в освещенности и температуре окружающей среды соответствующим изменением прозрачности и теплопроводности. Есть много различных проектов такой экономии. Так, широкое применение электронной бумаги многократного пользования могло бы сократить уничтожение лесов. Китайские ученые создали систему, которая может вырабатывать электричество, разлагая органические вещества, одновременно с этим очищая от органических соединений сточные воды. Янбяо Лю (Yanbiao Liu) с коллегами разработал фотокаталитическую топливную ячейку на основе нанотрубок, которая, используя энергию солнечного света, разрушает содержащиеся в сточных водах органические соединения и конвертирует химическую энергию в электрическую.

Нанотехнологии уже активно применяют в сельском хозяйстве, в частности в изготовлении кормов, что позволяет значительно снизить их расход и обеспечить лучшую усвояемость. В растениеводстве применение нанопорошков, совмещенных с антибактериальными компонентами, обеспечивает повышение устойчивости к неблагоприятным погодным условиям и приводит к повышению урожайности многих продовольственных культур, например картофеля, зерновых, овощных и плодово-ягодных.

4.5. Прогнозы

4.5.1. Окончание модернизационной фазы

Эйфория от возможностей нанотехнологий. Первый этап развития нанотехнологий (2000–2005 гг.) аналитики связывали с так называемыми «пассивными наноструктурами» (инкрементными нанотехнологиями), но в основном он характеризовался производством и применением нанодисперсных порошков. В целях модифицирования свойств базовых материалов их вводили в самые различные конструкционные материалы: металлы и сплавы, полимеры, керамику, а также в косметику, лекарства и т. д. В настоящее время это достаточно примитивное поколение наноматериалов уже широко освоено производством, и их можно обнаружить во многих товарах. Однако лишь немногие наноразработки нашли применение в высокотехнологичных отраслях промышленности.

Перспективы, которые открываются при возможности использования нанотехнологий, подогреваемые определенными интересами и СМИ, вызвали эйфорию прогнозов, большинству из которых явно не суждено сбыться.

Приведем некоторые из них. Согласно прогнозам Министерства торговли Великобритании, к 2015 г. спрос на нанотехнологии составит не менее 1 трлн долларов в год, а численность специалистов, занятых в данной отрасли, вырастет до 2 млн человек. Применение нанотехнологий в косметологии будет быстро нарастать и, по оценке основателя консалтинговой компании в области нанотехнологий SMP Scientifica Тима Харпера, уже к 2012 г. общий оборот рынка нанотехнологической фармацевтики составит около 3,2 трлн долларов США (Балабанов 2010). По мнению руководства фирмы Lux Research, к 2014 г. доля оборота нанотехнологий в медицинской продукции составит 16 %. К 2014 г. значительно повысится роль нанобиотехнологий в фармацевтической промышленности (до 23 %) и косметической отрасли (Там же).

Появление такого рода прогнозов вполне естественно. Людям хочется, чтобы инновации появлялись и внедрялись быстрее, в то же время они не замечают огромных трудностей на этом пути и не принимают в расчет экономические кризисы, которые меняют планы.

Ряд аналитиков предполагает, что уже к 2015 г. нанотехнологии будут применяться очень широко и появятся комплексы наносистем, а после 2020 г. откроется эпоха «радикальных наносистем» в виде нанороботов и др. На данном этапе произойдет развитие нанобиотехнологических и наномедицинских систем, которые существенно изменят жизнь человека, прежде всего значительно увеличив ее продолжительность. Однако теория производственных революций предсказывает, что хотя на модернизационной фазе и возникает множество инноваций, они в основной своей массе не являются столь прорывными – скорее развивающимися и улуч-

шающими, а многие вообще оказываются маловостребованными²². Одновременно готовятся открытия, которые станут основой для прорыва. Но прорыв произойдет позже. В отношении нанотехнологий он, скорее всего, придется на 2030–2050-е гг. Успехи нанотехнологий, которые ряд исследователей относит к 2020-м гг., таким образом, будут иметь место (но, конечно, далеко не все из них) на одно – три десятилетия позже. Тем не менее и в ближайшие десятилетия получат развитие различные уже опробованные сегодня достижения в разных областях, в том числе в сельском хозяйстве. В частности, в настоящее время создаются микробные препараты на основе ассоциативных, эндофитных и симбиотических бактерий. Эти препараты предназначены для использования в качестве продуцентов и транспортеров в растениях различных ферментов и низкомолекулярных биологических активных веществ (нанообъектов). Последние способны улучшать адаптацию растений к неблагоприятным факторам среды: загрязнению токсичными металлами, засолению, повышенной кислотности и т. д. Принципиально разработан комплексный подход к процессу получения высококачественного посевного материала. Он состоит в том, что биологически активные и фитосанитарные компоненты, предназначенные для повышения адаптации семян и растений к реальным негативным условиям окружающей среды, конструируются в виде полифункциональных наночипов.

Таким образом, НТ постепенно будут становиться неотъемлемой частью производственных процессов и жизни человека в целом.

4.5.2. Нанотехнологии как составная часть прорыва в завершающей фазе кибернетической революции

В будущем развитии НТ прослеживаются все характеристики кибернетической революции: создание технологий управляемых систем (в которых нанороботы самостоятельно или как часть более сложной технологии будут играть важную роль), производство новых материалов, экономия материалов и энергии (путем, например, доставки минимальных порций лекарства непосредственно в пораженную область или даже в отдельные клетки), миниатюризация, точечность действий и т. д.

Связь с медициной: большие потенциалы. Несмотря на серьезные успехи НТ в электронике и других отраслях, настоящая революция нанотехнологии, скорее всего, произойдет сначала в медицине, что даст дополнительный толчок к развитию в других областях. В итоге прорыв в завершающей фазе кибернетической революции будет обеспечен объединением медицины с биотехнологиями и нанотехнологиями, на основе чего возникнут различные технологии управляемых систем. Отдельные на-

²² Вспомним, сколько удивительных машин, в том числе даже вычислительных, было изобретено в XVII–XVIII вв., но очень многие из них либо вообще не были созданы, либо были произведены в единичных экземплярах.

правления слияния этих отраслей мы уже рассматривали в предыдущих разделах. В целом перспективы такого слияния видны уже сегодня. Так, по некоторым прогнозам, химерные нанобиоструктуры (способные транспонировать по организму медицинские нанодатчики, лекарственные препараты и даже ремонтные клетки) будут разработаны в ближайшие 10–12 лет и уже через 15 лет войдут в повседневную практику. Но вполне вероятно, что это произойдет несколько позже. Несомненно, что важным направлением развития нанотехнологий станет активное использование их в диагностике и создании искусственного иммунитета (этот опыт уже имеется и в настоящее время). В Институте молекулярной биологии им. В. А. Энгельгарта РАН на базе нанотехнологий создан биочип, позволяющий за несколько часов диагностировать ряд опасных заболеваний, к которым относится, например, туберкулез. Очень перспективным будет развитие нанотехнологий при создании материалов, имитирующих свойства биологических, например костную ткань. С помощью нанотехнологий уже производят такие операции, как нанонейровязание разорванного глазного тракта, имплантация протезов с высокой точностью, кардиохирургические и т. д.

Одно из направлений, на котором сконцентрированы огромные усилия нанотехнологии, – борьба с раком. Например, Институт рака в США выделил на эти исследования 150 млн долларов.

Можно прогнозировать, что лечение рака станет возможным, как только найдется способ точечного воздействия на определенный слой клеток в любом месте организма. Однако не исключено, что рак победят, не уничтожая сами раковые клетки, а с помощью метода борьбы с метастазами. Работы здесь ведутся по разным направлениям. Возможно, подсказку даст сам организм. Установлено, например, что в тканях сердца метастазы не возникают: очевидно, существуют механизмы защиты, которые еще предстоит понять (Marx 2013).

Вот несколько примеров новых направлений борьбы с онкологией, основанных на нанотехнологиях.

Например, разрабатывается система лечения раковой опухоли на основе нагревания наноразмерных частиц оксида железа, которые вводят в больную ткань и воздействуют магнитным полем, в результате чего частицы нагреваются и разрушают клетки. Пока этот метод проходит стадию клинических испытаний, однако продолжительность жизни больных, прошедших курс, значительно превышала сроки, предполагаемые врачами. Проблема в данном методе – точное введение частиц оксида железа в клетку опухоли.

Директор Лаборатории нанофотоники, профессор Университета Райса в Хьюстоне Наоме Халас и Питер Нордлендер создали новый класс наночастиц с уникальными оптическими свойствами – наногильзы. Имея диа-

метр в 20 раз меньше, чем у красных кровяных телец (эритроцитов), они свободно перемещаются по кровяной системе. К поверхности гильз особым образом прикрепляются специальные белки – антитела, поражающие раковые клетки. Через несколько часов после их введения организм облучают инфракрасным светом, который наногильзы преобразуют в тепловую энергию. Эта энергия разрушает раковые клетки, причем соседние здоровые клетки при этом почти не повреждаются.

Важное направление исследований в области лечения онкологии – автоматическое «умное» попадание наночастиц в пораженные раком клетки. Например, только миллионная доля революционного вещества для борьбы с онкологическими заболеваниями – герцептина, ставшего спасением для значительного числа больных раком молочной железы, опадает в большую клетку, все остальное поражает здоровые ткани. Группа американских ученых изобрела специальную модель капсулы из пористого кремния, в которую помещаются препараты и адресно отправляются в большую клетку. Сейчас эта методика также проходит клинические испытания. Ученый из США Марк Дэвис изобрел специальный модуль, который напоминает по составу сахар и поэтому не отторгается организмом и не выводится. Лекарство помещается в данный модуль и может храниться в организме неделю. Оно ищет опухоль по кровеносной системе. Раковые клетки более кислые, чем обычные, и, находя такие клетки, капсула раскрывается и выпускает сильное лекарство. Подобное лечение прошел больной на последней стадии рака поджелудочной железы, на стадии метастаз. Он живет до сих пор и даже не облысел, как после применения химиотерапии.

Будущее направление медицины – развитие методов диагностики и их удешевление. Важную роль здесь могут сыграть наночипы, о которых мы уже говорили. Начнут применяться нанороботы, которые будут не только выполнять лечебные функции, но и смогут доставлять питание непосредственно к клеткам человека и выводить продукты жизнедеятельности. Нанороботы могут использоваться для решения широкого круга задач, включая диагностику и лечение болезней, борьбу со старением, для перестройки некоторых частей организма человека, изготовления различных сверхпрочных конструкций (Балабанов 2010).

Понятно, что часть многообещающих технологий, на которые сегодня опирается прогнозирование, в дальнейшем окажутся не столь успешными. Но нет никакого сомнения, что использование наноматериалов, нанороботов, пригодных для исследования, и других нанотехнологий создадут важные предпосылки для будущей эпохи управляемых систем в области медицины.

Связь с биотехнологиями и сельским хозяйством. Другое важное направление НТ – исследования в области применения нанобиотехнологий. К ним относятся технологии по направленному белковому синтезу

для получения пептидов с желаемыми иммуногенными свойствами. Создаются векторные системы для клонирования иммунологически значимых белков возбудителей болезней и вакцины нового поколения, обладающие высокой активностью и безопасностью. Ведутся исследования по получению наночастиц генно-инженерных протеинов, разработке биочипов и тест-систем для биологического скрининга, иммунологического мониторинга и прогнозирования опасных и экономически значимых инфекционных заболеваний животных.

Можно предположить, что с помощью НТ и использования роботов разработка и применение биотехнологий существенно продвинутся в направлении создания саморегулируемых систем ведения сельского хозяйства, где сельскохозяйственные операции будут осуществляться в значительной мере в автономном режиме. Возникнет множество технологий, способствующих этому. Так, внедрение мембранных систем очистки, а также специальных биоцидных покрытий и материалов на основе серебра будут способствовать упрощению и повышению уровня содержания сельскохозяйственных животных и обеспечению их качественной водой. Предполагается, что применение нанотехнологий позволит изменить технику возделывания земель за счет использования наносенсоров, нанопестицидов и системы децентрализованной очистки воды. Нанотехнологии сделают возможным лечение растений на генном уровне, позволят создать высокоурожайные сорта, особо стойкие к неблагоприятным условиям (Балабанов 2010).

Различные перспективы применения нанотехнологий в кибернетической революции и на зрелых этапах научно-кибернетического принципа производства. Перспектив у нанотехнологий много. Получат развитие компоненты нанoeлектроники, фотоники, нейроэлектронных интерфейсов и нанoeлектромеханических систем. Затем на базе полученных результатов планируется осуществить переход к управляемой самосборке наносистем, созданию трехмерных сетей, нанороботов и т. д. Говорят также об использовании молекулярных устройств, атомном дизайне и т. д. Особенно заманчивые перспективы видятся в развитии наномеханики, наномашиностроения и наноробототехники.

Уже довольно давно возникла идея компьютеров, где создание и хранение информации осуществляется не посредством особого состояния среды (магнитной, электрической, оптической), а с помощью нанотехнологий, например замены кремния, основного сегодня материала в производстве полупроводниковых устройств, на углеродные нанотрубки. В этом случае 1 бит информации может быть записан в виде скопления, например, 100 атомов. Это на порядки уменьшило бы размеры процессоров или принципиально увеличило их быстродействие. В настоящее время число транзисторов в процессоре достигло 1 млрд и более. Однако еще несколько лет назад говорилось о цели создания к 2010-м гг. процессора с более чем одним триллионом транзисторов (что привело бы к радикаль-

ному росту возможностей ИКТ). Скорее всего, пока это малореальная задача, чтобы решить ее даже в 2020-е гг., до начала завершающей фазы кибернетической революции²³. Думается, приближение к этому уровню произойдет позже, уже в процессе развития этой фазы (это также открывало бы широкую нишу полной замены информационно-компьютерной техники в связи с переходом от использования кремния к наноматериалам).

Однако не исключено, что самые малые компьютеры создадут на принципиально другой базе. По Э. Дрекслеру, такой базой может стать не наноэлектроника, а наномеханика. Им предложены механические конструкции для основных компонентов нанокomпьютера – ячеек памяти, логических байтов. Основными их компонентами являются вдвигаемые и выдвигаемые стержни, взаимно запирающие движения друг друга (Бабанов 2010).

Из особых структур, таких как фуллерены, нанотрубки, наноконусы и другие, могут быть собраны молекулы в форме разнообразных нанодеталей – зубчатых колес, штоков, деталей подшипников, роторов молекулярных турбин, подвижных узлов манипуляторов и т. д. Сборка готовых деталей в механическую конструкцию может осуществляться с использованием ассемблеров (самосборщиков) с прикрепленными к деталям биологическими макромолекулами, способными избирательно соединяться друг с другом. Очень наглядно эту идею воплощает в жизнь профессор Джеймс Тур и его коллеги из Техасского университета Райса, которые в 2005 г. создали молекулярную механическую конструкцию – цельномолекулярный четырехколесный наноавтомобиль шириной около 2 нанометров, работающий на энергии света. Он состоял примерно из 3 сотен атомов и имел раму и оси. На разработку и создание наноавтомобиля потребовалось восемь лет. В планах ученых – создание грузовых нанотранспортных средств, наногрузовиков, для перевозки молекул к конвейерам нанофабрик (Там же).

Разумеется, это больше похоже на игрушки, чем на исследования для практического применения. В чем-то они напоминают паровые игрушки греческого механика Герона Александрийского, изумлявшие зрителей в I в. н. э. От них до паровой машины было очень далеко. Но в отличие от Герона, который даже и не думал о практическом применении пара, нынешние нанотехнологи озабочены именно практическим применением. Поэтому создание **наномашиностроения** – вполне реальная, хотя и не столь близкая, перспектива. Скорее всего, это произойдет ближе к концу нынешнего века. То же можно сказать и о **наноробототехнике**. Предполагаемые конструкции нанороботов и их использование в настоящее время

²³ Р. Курцвейл утверждает, что к 2020 г. персональные компьютеры достигнут вычислительной мощности человеческого мозга. Экстраполяция развития тенденции, которую любит использовать Курцвейл, тем не менее, работает до определенного предела. Пока такие прогнозы выглядят маловероятными.

существуют только в прогнозах, отчасти в фантастических рассказах и фильмах.

Есть мнение, что в 2030-е гг. наноустройства будут имплантированы в человеческий мозг и смогут осуществлять ввод и вывод необходимых сигналов из клеток мозга и что даже, возможно, это приведет к отсутствию необходимости обучения и получения образования. Но это вызывает большие сомнения. Такая киборгизация если и осуществима в принципе, то произойдет существенно позже.

В любом случае очевидно, что и наномашиностроение, и нанороботы поднимут развитие самоуправляемых систем на новый уровень в направлении формирования отрасли, которая будет создавать такие системы (подобно тому, как от использования машин перешли к их промышленному созданию – машиностроению).

Заключение

Описанные процессы должны были показать справедливость идеи, что завершающая фаза кибернетической революции будет эпохой бурного развития самоуправляемых систем. Собственно, уже сейчас мы пользуемся множеством подобных систем, но не воспринимаем их таким образом. Другие еще не нашли широкого применения, как самоочищающиеся стекла, но достаточно скоро они могут стать частью нашей повседневной практики. С появлением машин в предшествующие века появилось и множество ярких прозрений об их будущем применении, но также масса фантазий, которым не суждено было реализоваться. Так и сегодня трудно определить, что станет реальностью, а что нет. Но нет сомнения, что развитие происходит именно в направлении создания самоуправляемых систем. Впереди ждет расцвет такого рода систем, которые будут работать в основном автономно, контролируя при этом важные аспекты жизни человека, как сегодня компьютерные программы орфографии начинают контролировать ваш стиль или знание языка. Все это требует глубокого осмысления и работы в области минимизации возникающих проблем.

Как уже сказано, кибернетическая революция (как и любая производственная революция) несет с собой перемены во всех сферах производства и областях жизни. Однако эти перемены будут происходить не одновременно. В этой связи есть смысл сказать несколько слов об изменениях в других сферах.

Демография. Каждая фаза производственной революции обязательно связана с демографическими изменениями. В целом же в результате производственной революции изменяется тип демографической модели воспроизводства населения. Это выразилось в радикальном увеличении численности населения и темпов его прироста. В течение периода аграрной революции численность населения и его плотность выросли в десятки раз (с нескольких миллионов до сотен миллионов человек). В процессе индуст-

стриальной революции удалось резко снизить смертность и увеличить продолжительность жизни. В целом численность населения очень существенно возросла (например, население Великобритании за столетие с середины XVIII до середины XIX в. выросло в пять раз). Изменилась и структура населения: городское население стало быстро расти за счет сельского.

В результате начальной и средней фаз кибернетической революции происходит одновременно гигантский рост общего населения Земли. Этот рост коснулся прежде всего развивающихся стран, представляя, по сути, продолжение тенденций демографической революции индустриальной эпохи. Но с другой стороны, в развитых странах произошло завершение демографической революции – так называемый демографический переход, который заключается в снижении рождаемости. Одновременно значительно повысились продолжительность жизни и ее качество. Демографический переход – это уже результат собственно начальной фазы кибернетической революции. Недаром сегодня во все большем числе развивающихся стран рождаемость падает.

Вывод. Это дает нам основание предполагать, что завершающая фаза кибернетической революции изменит качество и продолжительность жизни (что уже имеет место) и внесет изменения в закономерности воспроизводства населения. Не исключено, что вырастут масштабы искусственного оплодотворения, а в будущем станет реальностью и искусственное выращивание детей вне материнской плаценты.

Энергетика. В ходе предшествующих производственных революций менялся также источник энергии. В результате аграрной революции стали использовать биологическую энергию – силу животных, в результате промышленной – сначала силу воды, затем ее заменил пар.

Для начала кибернетической революции уже имелся адекватный источник энергии, им можно считать электричество. Идея о том, что новым ведущим источником энергии станет термоядерная, водородная или иной новый вид энергии, пока не реализовалась. Возникает вопрос: должен ли появиться адекватный источник энергии для завершающей фазы кибернетической революции? Опыт предшествующих революций говорит о том, что это вовсе не обязательно. Переход к ирригационному интенсивному земледелию не требовал обязательного использования тягловой силы животных, также и первые сектора машинной промышленности вполне обходились давно известным водным источником энергии. Однако позже, в конце завершающей фазы производственной революции и во время перехода к зрелым этапам принципа производства, уже возникали новые источники энергии (так, завершение аграрной революции в неполивных зонах было связано с пашенным земледелием с использованием быков и волков; а завершение индустриальной революции – с использованием паро-

вой энергии). Отметим, что в обоих случаях это не была абсолютно неизвестная людям энергия. Энергия пара эпизодически использовалась с XVII в.

Вывод. Для начала завершающей фазы кибернетической революции принципиально нового источника энергии не потребуется, поэтому развитие альтернативной энергетики не будет играть здесь решающей роли. Однако новый источник энергии должен появиться либо в процессе завершения революции, либо несколько позже. Также, скорее всего, он не будет абсолютно неизвестным и не используемым ранее. Вероятнее всего, благодаря техническим инновациям, удастся «приручить» и сделать достаточно доступной тот или иной вид альтернативной энергии (водородной, термоядерной, солнечной; либо это будет изобретение легко запасаемой электроэнергии, которая также решит и вопрос с источником энергии для экологичного транспорта). На зрелых этапах принципа производства также происходят изменения в области энергетики, которые создают базу для новой производственной революции (так в период зрелости аграрно-ремесленного принципа производства таким стала сила воды, используемой для приведения в движение механизмов, а в период зрелости индустриально-торгового принципа производства – электроэнергия). Но какая энергия появится в конце научно-кибернетического принципа производства, пока сложно представить.

Транспорт и коммуникации. В конечном счете производственная революция обязательно изменяет способы транспортировки и коммуникации. Но здесь трудно выделить какие-либо четкие закономерности. Только в начале единственной (промышленной) революции одним из ее локомотивов стало развитие транспорта: дальнеходные парусные суда сыграли решающую роль в организации океанической торговли, ставшей одним из двигателей коммуникации (связи). Мы имеем в виду изобретение книгопечатания. Еще существеннее была роль новых видов связи и коммуникации в начале кибернетической революции. Таким образом, начальные фазы производственной революции могут быть обусловлены появлением новых видов коммуникации. Однако для завершающей фазы производственной революции это необязательно (и хотя письменность появилась на пороге завершающей фазы аграрной революции, ее роль не была решающей).

Вывод. В ближайшие десятилетия появление принципиально новых видов коммуникации вряд ли возможно. Развитие коммуникаций мощно прогрессирует в последние десятилетия и в целом даже обогнало общий уровень развития. Скорее всего, принципиально новые виды массовой коммуникации могут появиться только ближе к концу XXI столетия. Однако мощный прогресс в существующих ИКТ, как мы писали выше, вполне возможен в течение ближайших трех-четырех десятилетий.

Как уже было сказано, по-разному происходили и изменения в отношении транспорта. Аграрная революция не была к ним привязана. Переход на верховой транспорт и освоение морских коммуникаций произошли уже в процессе ее завершения на периферии и в более поздний период. Промышленная революция на ее начальной фазе была связана с наличием уже опробованных океанических судов, способных плавать при любом (а не только попутном) ветре, которые, правда, получили большое развитие в ходе революции. С этой инновацией были связаны и Великие географические открытия, без которых промышленная революция захлебнулась бы. Но появление парохода и тем более паровоза произошло уже в конце завершающей фазы промышленной революции²⁴. Появление нового вида транспорта придало ей огромный размах. Новые виды транспорта появились гораздо позже (автомобиль, самолет), и их было вполне достаточно для начала кибернетической революции. Она, разумеется, внесла очень существенные модернизации во все виды транспорта, но пока ничего принципиально нового не создала (космический транспорт не в счет), если не рассматривать скоростные железные дороги (но они играют второстепенную роль).

Вывод. В середине или конце завершающей фазы кибернетической революции (примерно 2050–2060-е гг.) можно ожидать появления каких-либо новых видов транспорта. Электромобиль с большим запасом хода и скорости мог бы служить возможным примером. Но с учетом «смысла» кибернетической революции (как революции самоуправляемых систем) прорыв скорее всего произойдет в направлении автономного движения транспорта и его управления. То есть транспортные средства и системы станут самоуправляемыми. Уже сегодня есть некоторые намечки реализации этой возможности.

Специализация. Производственная революция коренным образом меняет специализацию людей, их профессиональные навыки (компетенции) и создает потребность в новых. Земледелец и ремесленник сменили компетенции охотника и собирателя в период аграрной революции. А с появлением металлов исчезли специалисты по обработке каменных орудий труда. Но в эпоху аграрной революции, тем не менее, изменения происходили сравнительно медленно.

Практически весь период промышленной революции, начиная с XVI в. и, по крайней мере, до последней трети XIX в., прошел под знаком борьбы квалифицированных мастеров с Левиафаном технического прогресса. История этого периода пестрит эпизодами запретов на изобретения, принятием представителями цехов различных стесняющих законов, историей

²⁴ Правда, в Англии в XVIII в. была создана целая сеть каналов, что нельзя считать новым видом транспортных коммуникаций, хотя это, бесспорно, сыграло свою роль в развитии промышленного переворота.

разрушителей машин, и т. п. При этом основания для такого рода запретов и стеснений были самые серьезные: ухудшение качества продукции, падение зарплаток, конкуренция со стороны людей, не имеющих нужной профессиональной подготовки. Однако в итоге машины заменили ручное мастерство, волны технологических инноваций смели целые отряды специалистов. Начальная (и даже средняя) фаза кибернетической революции, особенно при распространении компьютеров, также дали огромное число случаев замены профессионального мастерства, в том числе в области интеллектуальной деятельности: набора, издания книг, журналов и газет, перевода, сбора информации, библиотечного и архивного дела, дизайна, рекламы, фотографии, кинематографии и т. д. и т. п. Неудивительно, что уже не за горами время, когда книги в прежней форме станут раритетом. Появление возможности «сам себе» (режиссер, издатель, художник, фотограф и т. п.) стало знаменем времени.

Вывод. В меньшей степени дальнейшее развитие подорвет основы еще очень многих профессий – от врача (о чем выше шла речь) и учителя до няни и налогового инспектора. В целом общий курс развития должен пойти по пути сокращения численности занятых в целом ряде секторов сферы обслуживания (как простых видов, так и более сложных), но одновременно потребуются много новых профессий. Сокращение занятых в сфере обслуживания не в последнюю очередь будет происходить за счет развития робототехники.

Робототехника. Принципы функционирования роботов и возможности их использования очень хорошо отвечают идее бурного развития самоуправляемых систем. Кроме того, только такого рода устройства смогли бы решить проблему обслуживания все более многочисленного пожилого поколения и в некоторой степени решить проблему недостатка рабочей силы. Поэтому нет никакого сомнения в том, что это направление раньше или позже ждет большое будущее, хотя сейчас объем мирового производства роботов весьма невелик – всего несколько миллиардов долларов. Но его взлет, скорее всего, сможет произойти уже после завершения кибернетической революции или в конце нее на базе создания технологий будущего. Билл Гейтс в 2007 г. считал, что робототехника находилась в состоянии, подобном тому, в каком находились ЭВМ в 1970-х гг., когда они с Полом Алленом основали компанию Microsoft, предполагая, по-видимому, что в 2030-е гг. робототехника станет столь же важной, как сегодня ИКТ. Однако, думается, что даже через тридцать лет роботы все еще не будут очень широко распространены, а бурный всплеск развития роботов произойдет примерно в 2050–2060-е гг. Ведь даже по оптимистическим прогнозам японской ассоциации по вопросам робототехники, к 2025 г. оборот робототехнической отрасли составит всего 50 млрд долларов (Гейтс 2007), то есть объем, совершенно недостаточный для переворота в экономике. В любом случае прогнозы в отношении совсем ско-

рого появления умных роботов не сбудутся, хотя эти идеи ценны для нас уже тем, что ярко демонстрируют важнейшую характеристику кибернетической революции – рост самоуправляемости систем.

В своей книге «Дети разума» Г. Моравек (Moravec 1988), рассуждая о влиянии закона Мура на развитие цивилизации, предсказывал будущее робототехники. Он утверждал, что в 2010 г. появятся модели роботов, чьи интеллектуальные способности будут идентичны мозгу ящерицы. Они будут использоваться для уборки помещений без вмешательства людей и некоторых других целей. Моравек утверждает, что еще через 20 лет будут созданы модели с умственными способностями обезьяны. Такие роботы смогут без указаний человека определять простейшие технические и бытовые проблемы и задачи и решать их самостоятельно. Это был бы, действительно, огромный шаг в направлении создания самоуправляемых систем нового типа. Однако, скорее всего, процесс создания таких роботов будет существенно более длителен.

Правовые, этические, педагогические и идеологические проблемы развития медицины. Чем быстрее происходит научно-технический прогресс, тем труднее обществу успевать за изменениями, тем более гибкой становится мораль, изощреннее – право, тем больше появляется всяких меньшинств, отстаивающих свои, далеко не всегда понятные, права, тем толерантнее становится общество. Но в то же время быстрее разрушаются традиции и сложнее становится отличить хорошее от плохого (растворяются критерии этих понятий), труднее для родителей передать детям свой опыт и т. д. и т. п. Нам уже приходилось об этом писать (Гринин 2006; Гринин, Коротаев 2009). Далеко не утратила своей актуальности и знаменитая работа Э. Тоффлера «Шок будущего» (Toffler 1970; Тоффлер 2002). Но эти проблемы обязательно требуют очень большого внимания. В частности, нельзя не отметить, что могут появиться очень сложные этические проблемы и возникает потенциальный риск нарушения социальных и биологических основ существования человека. Сложно представить, чем это может обернуться в конечном итоге. Радикальные изменения в организме человека способны серьезно отразиться на таких базовых вещах, как понимание семьи, пола, отношение к жизни. Именно поэтому полезны прогнозы развития кибернетической революции. Они могут помочь заранее озаботиться созданием оптимальных социальных, правовых и иных инструментов, чтобы такие изменения не застали полностью врасплох, чтобы можно было минимизировать негативные последствия. В конечном счете революция управляемых систем касается и социальных систем, поэтому должны быть выработаны технологии социального предвидения и купирования проблем, которые должны опробоваться хотя бы до массового распространения инноваций, внушающих опасения.

Библиография

- Адамс С. 1986. *Красноречивая история. Концерт Ла Рош против Стенли Адамса*. М.: Прогресс.
- Балабанов В. И. 2010. *Нанотехнологии: правда и вымысел*. М.: Эксмо.
- Белл Д. 1999. *Грядущее постиндустриальное общество*. М.: Академия.
- Бесланев Э. В. 2006. *Научное обоснование производства биологически полноценных кормов для плотоядных*: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Казань.
- Блинов В. А. 2003. *Общая биотехнология. Курс лекций*. Саратов: Саратовский ГАУ.
- Борисенко В., Толочко Н. 2008. Нанотехнологии: этапы развития. *Наука и инновации. Научно-практический журнал* 12(70). URL: <http://innosfera.org/taxonomy/term/407>
- Борлоуг Н. Э. 2001. «Зеленая революция»: вчера, сегодня и завтра. *Экология и жизнь* 1. URL: <http://www.ecolife.ru/journal/econ/2001-4-1.shtml>
- ВОЗ 2011. Десять ведущих причин смерти. *Информационный бюллетень* 310. URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/ru/>
- Волова Т. Г. 1999. *Биотехнология*. Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения РАН Российской Академии наук.
- Гейтс Б. 2007. Microsoft предсказывает революцию в сфере робототехники. URL: <http://www.robotov.net/news/?id=225>
- Глик Б., Пастернак Дж. 2002. *Молекулярная биотехнология. Принципы и применение*. М.: Мир.
- Гринин Л. Е. 1995–1996. *Философия и социология истории: некоторые закономерности истории человечества (опыт философско-социологического анализа всемирно-исторического процесса)*: в 3 кн. Волгоград: Учитель.
- Гринин Л. Е. 1997–2001. *Формации и цивилизации* (Книга печаталась в журнале «Философия и общество» с 1997 по 2001 г.).
- Гринин Л. Е. 2006. *Производительные силы и исторический процесс*. 3-е изд. М.: КомКнига/URSS.
- Гринин Л. Е. 2009. *Государство и исторический процесс: Политический срез исторического процесса*. М.: ЛИБРОКОМ/URSS.
- Гринин Л. Е. 2012. Кондратьевские волны, технологические уклады и теория производственных революций. *Кондратьевские волны: аспекты и перспективы*: ежегодник / Отв. ред. А. А. Акаев, Р. С. Гринберг, Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев, С. Ю. Малков, с. 222–262. Волгоград: Учитель.
- Гринин, Л. Е. 2013. Динамика кондратьевских волн в свете теории производственных революций. *Кондратьевские волны: палитра взглядов* / Отв. ред. Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев, С. Ю. Малков, с. 31–83. Волгоград: Учитель.
- Гринин Л. Е., Коротаев А. В. 2009. *Социальная макроэволюция. Генезис и трансформации Мир-Системы*. М.: ЛИБРОКОМ.
- Гринин А. Л., Холодова В. П., Кузнецов Вл. В. 2010. Сравнительный анализ физиологических механизмов солеустойчивости различных сортов горчицы. *Вестник Российского университета дружбы народов* 1: 27–38.

- Грицак Е. 2003.** *Популярная история медицины.* М.: Вече.
- Дементьев В. Е. 2008.** Нанотехнологическая инициатива США – опыт политики технологического лидерства. *Теория и практика институциональных преобразований в России.* Вып. 12. М.: ЦЭМИ РАН.
- Егорова Н. С., Самуилова В. Д. 1987.** *Биотехнология, проблемы и перспективы.* М.: Высшая школа.
- Жохова А. 2011.** Мы сделаем вам красиво. *Forbes* 03.06. URL: <http://m.forbes.ru/article.php?id=69681>
- Загорский И. 2012.** Не мясом единым: кожаные куртки будут выращивать в лаборатории. URL: <http://www.vesti.ru/doc.html?id=912084&cid=2161>
- Зудин Д. В., Кантере В. М., Угодчиков Г. А. 1987.** *Автоматизация биотехнологических исследований:* уч. пособ. для вузов: в 8 кн. М.: Высшая школа.
- Камионская А. М. 2011.** Биотехнология. URL: <http://www.lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia:0187:article>
- Кондратьев В. Б. 2011.** Глобальная фармацевтическая промышленность. URL: http://perspektivy.info/rus/ekob/globalnaja_farmaceuticheskaja_promyshlennost_2011-07-18.htm
- Костина Г. 2013.** Поколение R. *Эксперт* 25–31 марта: 63–65.
- Лешина А. 2012.** Пластики биологического происхождения. *Химия и жизнь – XX в.* 9: 2–5.
- Макаров И. М., Топчеев Ю. И. 2003.** *Робототехника. История и перспективы.* М.: Наука; МАИ.
- Мирский М. Б. 2010.** *История медицины и хирургии.* М.: ГЭОТАР-Медиа.
- ООН 1992.** Повестка дня на XXI век. URL: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/agenda21.shtml
- Ридли М. 2011.** *Секс и эволюция человеческой природы.* М.: Эксмо.
- Рыбалкина М. 2005.** *Нанотехнологии для всех.* М.: Nanotechnology News Network.
- Стратегия развития медицинской науки в Российской Федерации на период до 2025 года. 2013.** URL: http://rosminzdrav.ru/health/62/Strategiya_razvitiya_meditsinskoj_nauki.pdf
- Тейлор Д., Грин Н., Стаут У. 2004.** *Биология:* в 3 т. М.: Мир.
- Ткачук А. П., Ким М. В., Савицкий В. Ю., Савицкий М. Ю. 2011.** Перспективы использования трансгенных насекомых в программах биоконтроля. *Журнал общей биологии* 72(2): 93–110.
- Тоффлер Э. 2002.** *Шок будущего.* М.: АСТ.
- Фукуяма Ф. 2004.** *Наше постчеловеческое будущее: Последствия биотехнологической революции.* М.: АСТ.
- Юдин Б. Г. 2008.** Медицина и конструирование человека. *Знание, понимание, умение.* URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/meditsina-i-konstruirovanie-cheloveka>
- Vaker M. 2013.** Europe Bets on Drug Discovery. *Nature* 494: 20.
- BCC Research 2012.** *Nanotechnology: A Realistic Market Assessment.* URL: <http://www.bccresearch.com/report/nanotechnology-market-applications-products-nan031e.html>

- Bell D. 1973.** *The Coming of Post-Industrial Society*. New York, NY: Basic Books.
- Brown K. 2000.** The Human Genome Business Today. *Scientific American* 282(1): 50–55.
- Cavalcanti A., Shirinzadeh B., Zhang M., Kretly L. C. 2008.** Nanorobot Hardware Architecture for Medical Defense. *Sensors* 8(5): 2932–2958.
- Ceresana Research. 2011.** *Market Study: Bioplastics*. URL: <http://www.ceresana.com/en/market-studies/plastics/bioplastics/>
- Dator J. 2006.** Alternative Futures for K-Waves. *Kondratieff Waves, Warfare and World Security* / Ed. T. C. Devezas, pp. 311–317. Amsterdam: IOS Press.
- Demire P., Mazzucato M. 2008.** The Evolution of Firm Growth Dynamics in the US Pharmaceutical Industry: Is ‘Structure’ in the Growth Process Related to Size and Location Dynamics? *IKD Working Paper* No. 38, 09: 1–28.
- Dickert F. L., Hayden O., and Halikias K. P. 2001.** Synthetic Receptors as Sensor Coatings for Molecules and Living Cells. *Analyst* 126: 766–771.
- Hartwell R. M. 1976.** The Service Revolution: The Growth of Services in Modern Economy 1700–1914. *The Industrial Revolution. 1700–1914* / Ed. C. M. Cipolla, pp. 358–396. London: Harvester.
- ISO 2005.** TC 229 Nanotechnologies. URL: http://www.iso.org/iso/iso_technical_committee?commid=381983
- King R. D., Rowland J., Oliver S. G., Young M., Aubrey W., Byrne E., Liakata M., Markham M., Pir P., Soldatova L. N., Sparkles A., Whelan K. E., Clare A. 2009.** The Automation of Science. *Science* April 3: 85–89.
- Kopetz H. 2013.** Renewable Resources: Build a Biomass Energy Market. *Nature* 494(7435): 29–31. doi: 10.1038/494029a.
- Lane, N. Kalil T. 2007.** The National Nanotechnology Initiative: Present at the Creation. *Issue in Science and Technology*. URL: <http://www.issues.org/21.4/lane.html>
- Lynch Z. 2004.** Neurotechnology and Society 2010–2060. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1031: 229–233.
- Marx V. 2013.** Tracking Metastasis and Tricking Cancer. *Nature* 494: 131–136. URL: <http://www.nature.com/nature/journal/v494/n7435/full/494131a.html>
- McKie R. 2002.** Men Redundant? Now We Don't Need Women Either. *The Guardian* 10 February. URL: <http://www.guardian.co.uk/world/2002/feb/10/medicalscience.research>
- Moravec H. P. 1988.** *Mind Children*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Moss R., Cumbo K. 2012.** Prosthetics: Brain Control Reaches a New Level. *University of Pittsburgh Swanson School of Engineering* 14 April. URL: http://megan.scudellari.com/pdf/scientist_092012_touch.pdf
- Moynihn R. 2003.** Who Pay for Pizza? Redefining the Relationship between Doctors and Drug Companies. *British Medical Journal* 326: 400.
- NIC 2012.** National Intelligence Council 2012. *Global Trends 2030: Alternative Worlds*. URL: www.dni.gov/nic/globaltrends

- Population** Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat 2012. *World Population Prospects: The 2010 Revision*. URL: <http://esa.un.org/unpd/wpp/index.htm>
- Oxford** Nanopore Technologies 2013. The MinION™ Device: A Miniaturised Sensing System. URL: <http://www.nanoporetech.com/technology/the-minion-device-a-miniaturised-sensing-system>
- Raff M. 1998.** Cell Suicide for Beginners. *Nature* 396: 119–122.
- Ridley M. 1996.** *The Origin of Virtue*. New York, NY: Viking.
- Schirhagl R., Qian J., Dickert F. L. 2012.** Immunosensing with Artificial Antibodies in Organic Solvents or Complex Matrices. *Sensors & Actuators: B. Chemical* 173: 585–590.
- Slagboom P. E. S., Droog S., Boomsma D. I. 1994.** Genetic Determination of Telomere Size in Humans: A Twin Study of Three Age Groups. *American Journal of Human Genetics* 55: 876–882.
- Toffler A. 1970.** *Future Shock*. New York, NY: Random House.
- WHO 2004.** The World Medicines Situation. URL: <http://apps.who.int/medicinedocs/en/d/Js6160e/3.html>
- World Bank 2012a.** GDP Per Capita (Current US\$). URL: <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD>
- World Bank 2012b.** Health Expenditure Per Capita (Current US\$). URL: <http://data.worldbank.org/indicator/SH.XPD.PCAP?page=1>
- Woollett G. R. 2012.** Innovation in Biotechnology: Current and Future States. *Clinical Pharmacology and Therapeutics* 91(1): 17–20.

Аннотация

В статье исследуются технологические изменения, которые произошли во второй половине XX и в начале XXI в. На базе анализа новейших достижений в области медицины, био- и нанотехнологий, робототехники, ИКТ и других технологических направлений, а также опираясь на возможности теории производственных революций, подробно исследуется последняя производственная революция, которая названа кибернетической, и даются прогнозы о ее развитии в ближайшие пятьдесят лет. Показано, что основное направление этой революции будет заключаться в развитии разнообразных самоуправляемых систем. Подробно анализируются будущие прорывы и изменения в медицине, био- и нанотехнологиях в аспекте развития самоуправляемых систем и роста их способности к выбору оптимальных режимов функционирования, а также других характеристик кибернетической революции (экономии ресурсов и энергии, миниатюризации, индивидуализации).

Ключевые слова: информационные технологии, производственная революция, кибернетическая революция, самоуправляемые системы, киборгизация, медицина, биотехнология, нанотехнология, геномная инженерия.