

Донелла Медоуз  
Йорген Рандерс  
Деннис Медоуз

# ПРЕДЕЛЫ РОСТА: 30 ЛЕТ СПУСТЯ



ИЗДАТЕЛЬСТВО

**БИНОМ**

# **ПРЕДЕЛЫ РОСТА: 30 ЛЕТ СПУСЯ**

# LIMITS TO GROWTH

*The 30-Year Update*

DONELLA MEADOWS

JORGEN RANDERS

DENNIS MEADOWS

CHELSEA GREEN PUBLISHING COMPANY  
WHITE RIVER JUNCTION, VERMONT

Донелла Медоуз  
Йорген Рандерс  
Деннис Медоуз

# ПРЕДЕЛЫ РОСТА: 30 ЛЕТ СПУСТЯ

Перевод с английского  
кандидата экономических наук  
Е. С. Оганесян

Под редакцией члена-корреспондента РАН,  
доктора химических наук,  
профессора Н. П. Тарасовой

2-е издание (электронное)



Москва  
БИНОМ. Лаборатория знаний  
2014

УДК 574  
ББК 20.18  
М42

**Медоуз Д. Х.**

**М42** Пределы роста: 30 лет спустя [Электронный ресурс] / Д. Х. Медоуз, Й. Рандерс, Д. Л. Медоуз ; пер. с англ. Е. С. Оганесян ; под ред. Н. П. Тарасовой. — 2-е изд. (эл.). — Электрон. текстовые дан. (1 файл pdf : 361 с.). — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. — Систем. требования: Adobe Reader XI ; экран 10".

ISBN 978-5-9963-2577-1

Это третье издание книги, посвященной эколого-экономическим проблемам современности. Первая книга, «Пределы роста», вышла в 1972 г. и обрела широкую мировую известность. В последующих изданиях учтены изменения, произошедшие в мире с тех пор, и содержатся уточненные данные и оценки. В книге рассмотрены глобальные проблемы, стоящие перед человечеством, названы глубинные причины происходящих процессов и приведены возможные сценарии развития цивилизации в ближайшие десятилетия.

Работа адресована широкой аудитории: школьникам старших классов, студентам, учителям и преподавателям, действующим специалистам инженерного, естественно-научного и гуманитарного направлений, ученым и общественным деятелям. Книга особенно полезна менеджерам и разработчикам программ по защите окружающей среды.

**УДК 574  
ББК 20.18**

**Деривативное электронное издание на основе печатного аналога:** Пределы роста: 30 лет спустя / Д. Х. Медоуз, Й. Рандерс, Д. Л. Медоуз ; пер. с англ. Е. С. Оганесян ; под ред. Н. П. Тарасовой. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. — 358 с. : ил. — ISBN 978-5-9963-0810-1.

16+

**В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации**

© Dennis Meadows, 2004  
© Перевод на русский язык, оформление. БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012

**ISBN 978-5-9963-2577-1**

## Посвящение

---

За прошедшие 30 лет множество людей и организаций помогли нам выяснять, как пределы материального роста влияют на будущее всего мира. Мы посвящаем эту книгу тем людям, чей вклад был основополагающим — их трое.

*Аурелио Печчеи*, основатель Римского клуба. Его глубокая озабоченность судьбой мира и искренняя вера в человеческие качества заставили нас и многих других задуматься над тем, что ждет человечество в далеком будущем.

*Джей Форрестер*, заслуженный профессор Слоуновской школы менеджмента в Массачусетском технологическом институте, наш учитель. Он создал прототип компьютерной модели, которую мы использовали в работе, а его глубокое знание системного анализа помогло нам понять поведение экономических и экологических систем.

С сердечной болью и грустью мы посвящаем эту книгу ее основному автору, *Донелле Медоуз*. Все мы называли ее просто Дана, уважали и ценили ее труд. Она была замечательным писателем, генератором идей, нашим мозговым центром. Ее высокие стандарты этики, работы и общения продолжают вдохновлять и нас, и многих других людей, и это заставляет продолжать работу. Большинство обзорных глав и основной текст книги написаны Даной, хотя материалы и были дополнены после ее кончины в феврале 2001 г. Этим изданием мы хотим выразить уважение ее неустанным усилиям по распространению идей устойчивого развития среди всех граждан нашей планеты.

## Предисловие к русскому изданию

---

В 1970 г. Римский клуб по совету известного специалиста в области системной динамики профессора Джея У. Форрестера предложил Деннису Л. Медоузу, тогда еще совершенно неизвестному двадцатипятилетнему ассистенту Массачусетского технологического института, возглавить группу по разработке модели мирового развития. Эта модель должна была показать, что произойдет в мире, если сохранятся существовавшие на тот момент тенденции роста численности населения, промышленного и сельскохозяйственного производства, нерационального использования невозобновимых природных ресурсов, загрязнения окружающей природной среды. Д. Медоуз с блеском, энтузиазмом и исключительной преданностью делу решил поставленную перед ним задачу, возглавив в качестве научного и административного руководителя многонациональную группу молодых ученых, и уже через 21 месяц, 13 марта 1972 г., в Вашингтоне в Смитсоновском институте был впервые представлен их коллективный труд «Пределы роста. Доклад Римскому клубу».

Выводы, сделанные авторами, заставляли задуматься о будущем Земли. По прогнозу Д. Медоуза и коллег человечество уверенно шло навстречу катастрофе, избежать которой было возможно, только приняв меры по ограничению и регулированию роста производства и изменению критериев прогресса. Книга предупреждала о том, что материальный рост не может продолжаться до бесконечности на физически конечной планете, и требовала отказаться от наращивания количества (роста) в пользу качества (развития). Публика приняла книгу, и в течение короткого времени она разошлась тиражом около 4 млн экземпляров. Широкое внимание к этим противоречивым результатам стимулировало также более дюжины других попыток глобального моделирования. В дальнейшем книга была пере-

ведена более чем на 35 языков. И здесь надо с великим огорчением добавить, что на русский язык «Пределы роста» были переведены впервые только в 1991 г. Ее издание в Советском Союзе не состоялось лишь потому, что основные идеи не отвечали официальной идеологии тех лет.

В 1992 г., в 20-ю годовщину первой публикации, три соавтора (исключая Уильяма Беренса III) представили публике новую работу «За пределами роста». Они изучили статистические данные по основным глобальным тенденциям за период с 1972 по 1992 г. и сравнили с прогнозами, сделанными с помощью модели *World3* в 1972 г. Были обнаружены весьма незначительные расхождения, которые потребовали всего лишь восьми небольших изменений в сотнях уравнений и коэффициентов первоначальной модели.

«За пределами роста», изданная на русском языке в 1994 г., — это, конечно, развитие и продолжение идеи остановки материального роста и перехода к устойчивому обществу. Так же как когда-то сначала аграрная, а потом промышленная революции изменили направление вектора развития человеческой цивилизации, так и сейчас, по глубокому убеждению авторов, человечество ожидает экологическая революция, которая должна изменить приоритеты и ценностные ориентиры.

Но есть очень важные различия в этих трех революциях: если первая, аграрная, длилась тысячи лет, вторая, промышленная, — сотни лет, то для экологической революции при том экспоненциальном росте, который наблюдается сейчас, человечеству отпущено всего какие-нибудь десятки лет, т. е. жизнь двух-трех поколений людей. У человечества в запасе очень мало времени, и чем скорее это будет понято, тем меньше вероятность выйти за пределы устойчивости систем поддержания жизни на нашей планете.

Авторы не только снова подтвердили выводы о том, что тенденции современного экономического и популяционного роста — это путь, ведущий к коллапсу, но и показали возможности для человечества, не останавливая экономического развития и не снижая уровня жизни в развитых странах, перейти к модели устойчивого развития.

Основные идеи, сформулированные авторами, оказали несомненное влияние на осознание гражданами и правительствами стран мира неотложности изменения жизненной парадигмы. В «Повестке дня на XXI век», принятой в 1992 г. в Рио-де-Жанейро на Конференции ООН по окружающей среде и развитию, были намечены общие линии стратегии. Было рекомендовано разработать планы действий по переходу к устойчивому развитию на всех уровнях. Обсуждение



было продолжено в Йоханнесбурге в 2002 г. во время Всемирного саммита по устойчивому развитию. Принятые на нем документы были призваны определить глобальные тенденции развития человечества в XXI в.

Третья книга тех же авторов — «Пределы роста: 30 лет спустя» — увидела свет уже после безвременной кончины Донеллы Медоуз и посвящена ее памяти. Уже из названия понятно, что книга о том же, только спустя 30 лет. Какие из выводов, к которым пришли авторы тогда, подтвердились и в какой степени? Что нового внесла жизнь в развитие нашей цивилизации за 30 лет? Изменились ли тенденции в использовании природных ресурсов и отношение человечества к своей планете? Как сосуществуют и взаимодействуют три основные социоэкономические системы — аграрная, индустриальная и постиндустриальная (информационная)?

Авторы подчеркивают, что человечество уже превысило по некоторым параметрам пределы устойчивости биосферы и что только очень разумная политика может уменьшить негативные последствия для общества и окружающей природной среды. По мнению авторов, всем обитателям планеты следует задумываться об отдаленных последствиях собственных действий и решений, которые к этим действиям приводят. И наконец, книга знакомит новое поколение читателей, особенно студентов, исследователей и профессиональных разработчиков стратегий с моделью *World3*. Эта модель, как и другие серьезные компьютерные модели, создана для неточного, зависящего от условий, предсказания режимов динамического поведения, что, как указывает Д. Медоуз, обусловлено тремя причинами. Во-первых, социальные системы в абсолютном смысле слова непредсказуемы по своей сущности. Так как любое предсказание по поводу будущего социальной системы оказывает влияние на социальную политику, любое предсказание само по себе может изменить поведение системы. Это явление известно как «самоосуществляемое или самоопровергаемое предсказание». Во-вторых, неполное понимание причинно-следственных связей в социальных, политических и других системах в совокупности с неполнотой и неточностью данных, делает невозможным создание точных моделей. В третьих, модели могут приносить пользу, только если они являются упрощением реальности. Но как только модель опускает детали реальной системы, она может дать только неполную картину поведения. Тем не менее условные, неточные предсказания режимов динамического поведения могут быть весьма полезны лицам, принимающим решения, тем, кто на самом деле обеспокоен важными долгосрочными проблемами и хочет создать эффективные стратегии управления.

Второе русское издание книги «Пределы роста: 30 лет спустя» приурочено к 40-летию выхода «Пределов роста» и к 20-летию конференции в Рио-де-Жанейро. Книги «Пределы роста: 40 лет спустя», запланированной в 2012 г., не будет. По словам Денниса Медоуза, модель *World3* предназначалась для того, чтобы показать людям, как можно было бы избежать катастрофы, и 40 лет спустя нет смысла снова описывать сценарии будущего, поскольку при всех разумных допущениях это сценарии коллапса.

Профессор Д. Медоуз широко известен в России, созданные им на базе модели *World3* обучающие игры используются в десятках университетов и сотнях общеобразовательных школ. Лекции Д. Медоуза, неоднократно посещавшего нашу страну, неизменно собирают огромные аудитории. Профессор Д. Медоуз награжден многими престижными научными наградами, премиями разных стран за заслуги в области охраны окружающей среды. Он является Почетным профессором МГУ имени М. В. Ломоносова и Почетным доктором РХТУ имени Д. И. Менделеева.

*Н. П. Тарасова,  
член-корреспондент РАН,  
профессор*

## Обращение Д. Медоуза к российским читателям

---

Я рад, что эта книга может быть опубликована на русском языке, поскольку россияне самым непосредственным образом участвовали в нашем проекте с момента его начала более 35 лет назад. Джермен Гвишиани был одним из учредителей Римского клуба, сформулировавшего задачу и оказавшего первоначальную финансовую поддержку нашему исследованию, выполненному в Массачусетском технологическом институте в 1970–1972 гг. При содействии Моссовета Д. Гвишиани организовал и провел зимой 1970 г. в Москве научный семинар, сыгравший важную роль в первичном анализе результатов исследования и их представлении общественности. Когда была опубликована первая книга, ее самиздатовская версия широко разошлась по Советскому Союзу. Я получил много важных критических замечаний и пожеланий от советских ученых и политиков, прочитавших это издание.

Благодаря таким первоначальным контактам уже позже, в 1979–1990 гг., я получил возможность несколько десятков раз посетить Москву. В это время я познакомился с Геннадием Алексеевичем Ягодиным, и мы вместе работали над развитием сотрудничества между преподавателями советских и американских университетов, что заложило основы экологического образования. Геннадий Алексеевич в то время занимал пост министра высшего и среднего специального образования СССР, и по его инициативе по всей стране были проведены семинары, на которых я продемонстрировал две разработанные мною образовательных игры, моделировавших проблемы пределов роста. В 1992 г. профессор Г. А. Ягодин организовал перевод и публикацию на русском языке нашей второй книги. Дружеские отношения и научные контакты, сложившиеся в те годы, профессионально важны для меня и сейчас. Особо хотелось бы отметить научное и образовательное сотрудничество с профессором Наталией

Павловой Тарасовой, ныне директором Института химии и проблем устойчивого развития Российского химико-технологического университета имени Д. И. Менделеева.

Сейчас выходит третье издание нашего доклада Римскому клубу. Обратите внимание: мы не изменили своих прогнозов. Мы лишь обновили данные и для подтверждения первоначальных выводов включили в книгу результаты многочисленных международных исследований, проведенных за прошедшие годы.

На основании наших исследований мы по-прежнему делаем вывод о том, что уже в первой половине текущего столетия существующие социально-экономические и политические тенденции приведут к разрушению основ индустриального общества, если не будут проведены значительные изменения. В 1972 г. мы отводили на смену курса 50 лет, но теперь времени осталось гораздо меньше, а политики все еще пытаются идти проторенной дорогой. Глобальные проблемы — изменение климата, истощение нефтяных запасов, деградация сельскохозяйственных угодий, дефицит пресной воды — уже проявились либо проявятся в ближайшие десятилетия. Еще не поздно перейти на путь устойчивого развития. Однако многие важные возможности были упущены из-за того, что в течение 35 лет люди отрицали очевидные факты...

Россия играет особую роль в решении перечисленных проблем. Это страна, чья подпись привела в действие Киотский протокол. Россия до сих пор обладает богатейшими природными ресурсами, по крайней мере, в сравнении с другими промышленно развитыми странами. Крах старой системы в 1990-х гг. дал возможность гражданам переосмыслить цели развития и выработать новые инвестиционные стратегии. Поэтому у России немного больше времени для подготовки к переменам. Удастся ли ей воплотить их в жизнь? Не знаю. Но я на это надеюсь. Успех частично зависит и от того, как вы, уважаемые читатели, воспримете эту книгу.

*Деннис Медоуз  
Вена, 2 ноября 2006 г.*

# Предисловие авторов

---

## С чего все начиналось

Книга «Пределы роста: 30 лет спустя» — третье издание нашей работы, впервые опубликованной в 1972 г.\* В 1992 г. мы выпустили пересмотренное и дополненное издание под названием «За пределами роста»\*\*. В нем сценарии из первой книги сопоставлялись с изменениями, произошедшими в мире за 20 лет. Теперь же, спустя 30 лет, мы выпускаем третье издание, в котором основные положения исходного исследования дополнены важными данными и выводами, собранными уже за три десятилетия.

---

\* *Meadows D. H., Meadows D. L., Randers J. and Behrens III William W. The Limits to Growth. New York: Universe Books, 1972.* (На русском языке книга была выпущена лишь в 1991 г., причем довольно ограниченным тиражом: *Медоуз Д. Х., Медоуз Д. Л., Рэндерс Й., Беренс В. Пределы роста. М.: Изд-во МГУ, 1991. 208 с.*) В 1970-е гг. в той же области знаний было издано еще две книги, имевшие более техническую направленность: *Meadows D. L. et al. The Dynamics of Growth in a Finite World (Cambridge, MA: Wright-Allen Press, 1974)* и *Meadows Dennis L. and Meadows Donella H. Toward Global Equilibrium (Cambridge, MA: Wright-Allen Press, 1973)*. Ни та ни другая до сих пор на русском языке не публиковались. Первая работа содержит полную документацию к компьютерной модели *World3*; во второй приводится 13 глав с дополнительными исследованиями и моделями меньшего размера, которые послужили составными элементами для построения глобальной модели. Обе книги на английском языке распространяются издательством *Pegasus Communications*, One Moody Street, Waltham, MA 02453-5339 ([www.pegasus.com](http://www.pegasus.com)).

\*\* *Meadows Donella H., Meadows Dennis L. and Randers J. Beyond the Limits. Post Mills, VT: Chelsea Green Publishing Company, 1992.* Практически сразу после опубликования были начаты работы по переводу на русский язык, которые завершились изданием в 1994 г. книги: *Медоуз Д. Х., Медоуз Д. Л., Рэндерс Й. За пределами роста. М.: Прогресс, Пангея, 1994. 304 с.* Работа получила широкое распространение в научной среде и в высших учебных заведениях нашей страны.

Исследование, в результате которого были написаны «Пределы роста», проводилось в 1970–1972 гг. в Слоуновской школе менеджмента при Массачусетском технологическом институте (МТИ) на факультете системной динамики. Наша исследовательская группа использовала теорию системной динамики и компьютерное моделирование, чтобы проанализировать причины и следствия роста численности населения и материального потребления в долгосрочной перспективе. Мы ставили перед собой вопросы: *к чему приведут человечество существующие тенденции — к устойчивому будущему или к глобальной катастрофе? Что можно сделать, чтобы создать экономику, которая обеспечивала бы достойный уровень жизни всем людям на планете?*

Найти ответы на эти вопросы нам поручил Римский клуб — неправительственная международная организация, объединяющая выдающихся бизнесменов, политиков и ученых. Финансировал работу немецкий Фонд «Фольксваген».

Деннис Медоуз, в то время сотрудник факультета МТИ, собрал группу специалистов и руководил ее работой. Первое исследование заняло два года. В состав группы входили:

Элисон А. Андерсон, доктор философии, США

Ильяс Баяр, Турция

Фархад Хакимзаде, Иран

Джудит А. Мэчен, США

Донелла Х. Медоуз, доктор философии, США

Нирмала С. Мерфи, Индия

Йорген Рандерс, доктор философии, Норвегия

Джон А. Сигер, доктор философии, США

Эрих К. О. Зан, доктор философии, Германия

Джей М. Андерсон, доктор философии, США

Вильям В. Беренс III, доктор философии, США

Штеффен Харбордт, доктор философии, Германия

Петер Миллинг, доктор философии, Германия

Роджер Ф. Найлл, доктор философии, США

Стефан Шантцис, США

Мэрилин Уильямс, США

Основой работы стала компьютерная модель *World3*; в нее заложили различные теории роста и глобальные статистические дан-

ные\*. Модель позволила получить различные сценарии развития мира, вероятные в той или иной степени, но не содержащие внутренних противоречий. В первом издании «Пределов роста» мы описали и проанализировали 12 сценариев модели *World3* — они иллюстрировали возможные перспективы развития мира на протяжении двух столетий, с 1900 по 2100 г. В книге «За пределами роста» содержится уже 14 сценариев, полученных с помощью слегка обновленной версии модели *World3*.

В некоторых странах книга «Пределы роста» стала бестселлером, со временем ее перевели почти на 30 языков. Издание «За пределами роста» сразу же планировалось на разных языках; во многих университетах его используют как учебное пособие.

## 1972 г.: пределы роста

В «Пределах роста» мы пришли к выводу о том, что воздействие на окружающую среду в масштабах земного шара (выбросы загрязнений и расходование природных ресурсов) сильно повлияет на развитие мира в XXI в. «Пределы роста» предупреждали, что человечеству придется направлять больше усилий и капитала на то, чтобы бороться с ухудшением состояния окружающей среды. Возможно, настолько больше, что в один прекрасный день в XXI в. это приведет к снижению среднего уровня жизни. Книга не уточняла, какой именно ресурс истощится первым или какой вид выбросов положит конец росту, требуя на борьбу с последствиями больше средств, чем это физически возможно. В большой и сложной системе, учитывающей численность населения, экологические и экономические факторы, просто невозможно давать детальные прогнозы, не погрешив против научного подхода.

---

\* Существовали также предшествующие модели *World1* и *World2*. Модель *World1* была первой разработкой такого рода. Профессор МТИ Джей Форрестер создал ее в ответ на запрос Римского клуба, который интересовался взаимосвязями различных тенденций и проблем в глобальном масштабе. Модель *World2* стала итоговой, официально документированной работой Форрестера; она описана в книге: *Forrester J. W. World Dynamics*. Cambridge, MA: Wright-Allen Press, 1971 (распространяется издательством *Pegasus Communications*). Книга опубликована на русском языке: *Форрестер Дж. Мировая динамика*. М.: Наука, 1978. 167 с.

Модель *World2* стала прародительницей модели *World3*: были переработаны структура модели и существенно расширена статистическая база данных. Можно сказать, что профессор Форрестер был духовным отцом модели *World3* и методов системной динамики, на которых она основана.

В книге «Пределы роста» мы выражали надежду на то, что будут приняты предупреждающие меры, которые позволили бы избежать роста нагрузки на окружающую среду и выхода за пределы самоподдержания Земли. Миру требовались серьезные, социально направленные меры, основанные на существенных изменениях в технологии, культуре и политике. Хотя глобальная проблематика была представлена со всей серьезностью, в книге мы выражали надежду на лучшее и постоянно заостряли внимание на том, что если вовремя принять меры, то каждый из нас может значительно уменьшить вред, наносимый среде в результате приближения или даже превышения глобальных экологических пределов.

Двенадцать сценариев, приведенных в «Пределах роста», показывают, как рост численности населения и потребления природных ресурсов соотносится с различными пределами. В реальной жизни пределы роста многообразны. В нашем исследовании мы сосредоточились в первую очередь на физических пределах планеты: исчерпаемых природных ресурсах и ограниченной способности Земли поглощать промышленные и сельскохозяйственные загрязнения. В каждом реально возможном сценарии модели *World3* мы обнаруживали, что эти пределы рано или поздно остановят рост в XXI в.

В нашем исследовании не было пределов «из ниоткуда», возникших внезапно. Рост численности населения и материального капитала в сценариях постепенно вынуждает человечество направлять все больше и больше средств на решение проблем, которые вызваны его же воздействием на среду. Со временем на борьбу с последствиями приходится тратить столько, что поддерживать дальнейший промышленный рост становится невозможно. Когда промышленность приходит в упадок, общество не может обеспечивать рост в других секторах экономики: производстве продовольствия, сфере услуг и других областях потребления. Когда останавливается рост в этих отраслях, рост населения также прекращается.

Окончание роста может принимать разные формы. Оно может произойти катастрофически быстро: это неконтролируемое уменьшение численности населения одновременно с резким снижением уровня жизни. Сценарии модели *World3* предсказывают такую катастрофу не по одной, а по ряду причин. Прекращение роста может выглядеть и как плавный переход, при котором воздействие человека на окружающую среду приводится в соответствие самоподдерживающей способности планеты. Закладывая в модель принципиальные изменения в направлениях человеческой деятельности, мы можем заставить ее создать такой сценарий, в котором оконча-



ние роста будет сопровождаться длительным периодом относительно высокого благосостояния.

## Конец роста

Прекращение роста, в какой бы форме оно ни происходило, в 1972 г. казалось нам делом отдаленного будущего. Все сценарии модели *World3*, описанные в «Пределах роста», предсказывали продолжение роста капитала и численности населения как в 2000 г., так и многими годами позже. Даже в самом пессимистичном сценарии материальный уровень жизни продолжал расти до 2015 г. «Пределы роста» предполагали, что рост остановится примерно через 50 лет после публикации книги — вполне достаточный срок для того, чтобы хорошо подумать, сделать выбор и принять правильные меры даже в масштабах всего земного шара.

Когда мы писали «Пределы роста», все члены группы очень надеялись, что здравый смысл возобладает, и общество пойдет в верном направлении, чтобы снизить вероятность глобальной катастрофы. Мировой кризис — перспектива малоприятная. Упадок экономики и резкое уменьшение численности населения до уровней, которые способна поддерживать окружающая среда, обязательно будут сопровождаться ухудшением здоровья людей, конфликтами и вооруженными столкновениями, разрушением экосистем и вопиющим социальным неравенством. Неконтролируемое уменьшение численности населения станет следствием резкого роста смертности и очень серьезного снижения потребления. Вовремя принятые меры позволили бы избежать неконтролируемого спада. Если с помощью целенаправленных усилий ограничить запросы человечества до уровня, приемлемого для планеты, тогда с последствиями выхода за пределы можно справиться. Необходимо постепенно снизить рождаемость, обеспечить более справедливое распределение материальных благ и за счет этого уменьшить нагрузку на окружающую среду до приемлемого уровня.

Стоит лишний раз повторить, что рост совсем не обязательно ведет к глобальной катастрофе. Кризис наступает только в том случае, если рост привел к выходу за пределы: если запросы столь велики, что ресурсы планеты истощаются и она уже не в состоянии обеспечить самоподдержание. В 1972 г. казалось, что население и мировая экономика с большим запасом вписываются в физические пределы источников и стоков планеты. Мы считали, что еще достаточно времени для безопасного продолжения роста и одновременного анализа долгосрочных перспектив. Наверное, в 1972 г. так оно и было, но к 1992 г. все изменилось.

## 1992 г.: за пределами роста

В 1992 г. мы обновили исследование 20-летней давности и опубликовали результаты в книге «За пределами роста». Мы проанализировали развитие мира в период 1970–1990 гг. и учли эту информацию в обновленной модели *World3*. Книга «За пределами роста» укрепила первоначальные опасения — в 1992 г. мы убедились, что два прошедших десятилетия лишь подтвердили выводы, сделанные двадцатью годами ранее. Однако исследование 1992 г. показало и кое-что новое: мы обнаружили, что человечество *уже вышло* за пределы самоподдержания Земли. Это было настолько важно, что мы вынесли этот факт в название книги.

Даже в начале 1990-х гг. было ясно, что человечество идет туда, где самоподдержание уже невозможно. К тому времени было установлено, что влажные тропические леса вырубают с недопустимой скоростью; появились свидетельства того, что общемировое производство зерна больше не в состоянии угнаться за ростом численности населения; укрепились опасения насчет глобального изменения климата; стратосферные озоновые дыры уже воспринимались со всей серьезностью... Однако для большинства людей на планете все это по-прежнему не означало, что человечество вышло за пределы самоподдержания окружающей среды! Мы протестовали против такой точки зрения. По нашим данным, уже к началу 1990-х гг. выход за пределы стал свершившимся фактом. Это больше нельзя было игнорировать. Его необходимо признать, чтобы решить главную задачу: вернуть мир в область самоподдержания. Несмотря на серьезность положения, книга «За пределами роста» придерживалась оптимистичной точки зрения, в большинстве сценариев показывая, что последствия от выхода за пределы поправимы — для этого надо лишь вести продуманную мировую политику и пойти на определенные изменения в технологиях, управлении, общественной жизни и личностных устремлениях.

Книга «За пределами роста» увидела свет в 1992 г. В тот же год в Рио-де-Жанейро проходила встреча на высшем уровне по вопросам окружающей среды и развития. Сам факт такой встречи, казалось бы, говорил о том, что мировое сообщество наконец-то решило серьезно отнестись к экологическим проблемам. Но теперь нам известно, что цели, поставленные в Рио, так и не были достигнуты. Конференция «Рио + 10», проходившая в Йоханнесбурге в 2002 г., принесла еще меньше пользы: вся работа была практически парализована дискуссиями на идеологические и экономические темы, которые ве-

лись в узких национальных, корпоративных, а то и просто личных интересах\*.

## 1970–2000 гг.: рост нагрузки на окружающую среду

За последние 30 лет многое изменилось в лучшую сторону. В ответ на продолжающийся рост нагрузки на окружающую среду были разработаны новые технологии, потребители в определенной степени изменили свои предпочтения, были созданы новые организации, заключены многосторонние соглашения. В некоторых регионах производство продовольствия, энергии и промышленной продукции росло гораздо быстрее, чем численность населения, и благосостояние людей увеличилось. Скорости роста численности населения уменьшились в ответ на возросший уровень доходов. Обеспокоенность состоянием окружающей среды и забота о ней сейчас гораздо серьезнее, чем в 1970 г. В большинстве стран существуют министерства по защите природных богатств, довольно широко распространено экологическое образование. В развитых странах практически устранены такие типичные загрязнения, как выбросы из дымовых труб и промышленные стоки; ведущие компании-производители добиваются все большей экологической эффективности.

На фоне этих очевидных успехов не так-то просто вести разговор о выходе за пределы, который произошел в 1990-х гг. Задача еще усложняется, если учесть нехватку статистических данных и отсутствие общепринятой терминологии в этой области, даже самой элементарной. Например, на определение взаимосвязи между валовым внутренним продуктом (ВВП) и нагрузкой на окружающую среду (экологическим следом) ушло более 20 лет, а ведь только после такой предварительной работы можно начинать серьезный разговор с экономистами о пределах роста. Мировое сообщество до сих пор пытается осознать идею *самоподдержания и устойчивого развития* — понятий, которыми, к огромному сожалению, многие зло-

\* См. отчет: *Report of the World Summit on Sustainable Development*, United Nations, A/CONF.199/20, New York, 2002 (он доступен также на сайте [www.un.org](http://www.un.org)). В нем указаны цели, обозначенные в плане мирового развития (Plan of Implementation) — например, достичь к 2015 г. двукратного уменьшения численности нуждающихся в чистой питьевой воде и в улучшении санитарного состояния, уменьшить мировые потери биоразнообразия к 2010 г., восстановить мировые зоны рыбной ловли и довести улов до максимального устойчивого уровня к 2015 г. Обязательства отражали высокий уровень обеспокоенности мировыми проблемами, но несмотря на это, цели отчета WSSD, по мнению многих независимых наблюдателей, в значительной степени достигнуты не были. В некоторых случаях обязательства, данные десятью годами ранее в Рио-де-Жанейро, были нарушены, а часть из них вообще отозвана.

употребляют даже через 20 лет после того, как их ввела в обращение Комиссия Брундтланд\*.

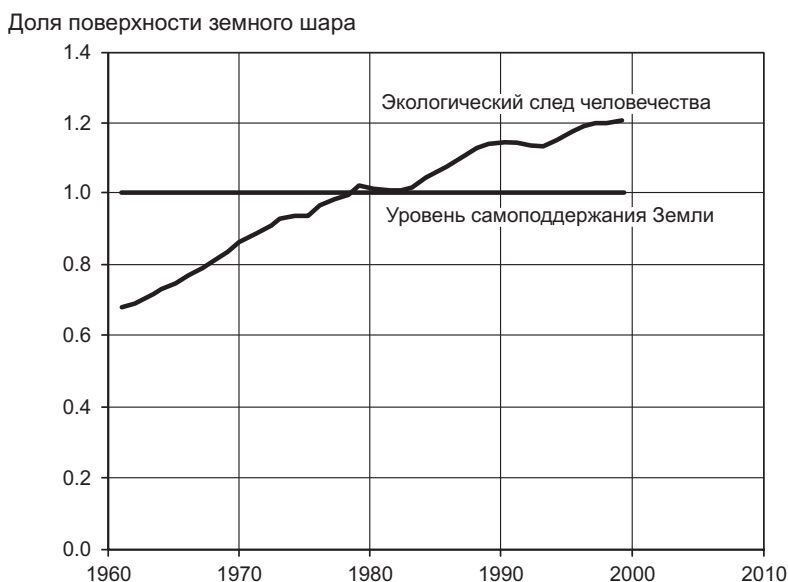
Прошедшее десятилетие позволило накопить данные, которые укрепили наш вывод о том, что мир уже вышел за пределы. Сейчас ясно, что максимум производства зерна на душу населения был пройден в середине 1980-х гг. Ожидания существенного роста морского улова рыбы не оправдались. Природные катаклизмы с каждым годом обходятся все дороже, а борьба за пресную воду и ископаемые виды топлива становится жестче, подчас приобретая формы прямых столкновений. США и другие ведущие страны продолжают увеличивать выбросы парниковых газов, хотя метеорологические данные подтверждают, что климат меняется, и ученые уже пришли к единому мнению о том, что это прямое следствие человеческой деятельности. По-прежнему в мире есть регионы и области, в которых идет снижение экономической активности. В 54 странах мира — а это 12% населения планеты — в период 1990–2001 гг. величина ВВП на душу населения уменьшалась\*\*.

Последние 10 лет улучшили ситуацию с терминологией и позволили разработать новые количественные показатели выхода системы за пределы. Так, Матис Вакернагель с коллегами сумели оценить нагрузку на окружающую среду со стороны человека — *экологический след* — и сравнить его с поддерживающей способностью планеты\*\*\*. Они определили экологический след как земельную территорию, необходимую для получения нужного количества ресурсов (зерна, продовольствия, древесины, рыбы, площадей под городскую застройку и т. п.) и «переработки» выбросов, производимых мировым сообществом (прежде всего диоксида углерода). Сравнив полученные значения с территориями, доступными на планете, Вакернагель заключил, что человечество уже расходует примерно на 20% больше, чем допускает уровень самоподдержания (рис. П.1). По этой методике подсчета получается, что в последний раз человечест-

\* Международная комиссия ООН по окружающей среде и развитию (больше известная под названием «Комиссии Брундтланд», по имени ее главы Гру Харлем Брундтланд, занимавшей пост премьер-министра Норвегии) в 1987 г. выпустила доклад «Наше общее будущее» (см. World Commission on Environment and Development. *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press, 1987), в котором изложила основные принципы устойчивого развития. В первом издании «Пределов роста» авторы использовали термин «равновесие» вместо «устойчивости» и более емкого понятия «самоподдержание».

\*\* Данные Всемирного банка. *World Bank Atlas-2003*. Washington, DC, 2003. С. 64–65.

\*\*\* См.: Wackernagel M. et al. Tracking the ecological overshoot of the human economy // *Proceedings of the Academy of Science*. 99. № 14. С. 9266–9271. Washington, DC, 2002. Материалы также доступны на сайте [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.142033699](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.142033699).



**Рис. П. 1.** Экологический след человечества и уровень самоподдержания

График показывает долю поверхности планеты (количество планет Земля), необходимую для обеспечения человечества ресурсами и разложения загрязнений и выбросов. Расчеты выполнены для каждого года, начиная с 1960 г. Потребности человечества сравниваются с доступными ресурсами: на самом деле планета у нас только одна. Начиная с 1980-х гг., потребности человека превышают возможности планеты. В 1999 г. величина выхода за пределы составляет порядка 20%. (Источник: Wackernagel M. et al.)

во находилось на уровне самоподдержания в 1980-х гг. В настоящее время мы за пределами примерно на 20%.

К сожалению, нагрузка со стороны человека на окружающую среду продолжает расти, несмотря на развитие технологий и общественных институтов. Положение осложняется тем, что человечество *уже вышло* за пределы и находится в неустойчивой области. Однако во всем мире понимание этой проблемы удручающе слабое. Чтобы уменьшить экологический след и вернуться к допустимому уровню, необходимо изменить личностные ценности и общественные устремления, но, чтобы добиться у политиков поддержки в этой области, времени нужно очень много.

## Что же произойдет?

Задача формулируется просто: чтобы достичь устойчивости, необходимо увеличить уровни потребления в бедных странах мира, но при

этом одновременно снизить экологический след человечества на планете в целом. Необходимо и развитие технологий, и изменение поведения людей, и планирование в долговременной перспективе. Нужно больше понимания, уважения и заботы — без оглядки на политические границы. Даже при самом благоприятном развитии событий на это уйдут годы. Ни одна современная политическая партия пока не оказала поддержки такой программе. И, конечно, ни одна из промышленно развитых и богатых стран не поступилась своим уровнем потребления, хотя они вполне могли бы со своей стороны уменьшить экологическую нагрузку, чтобы дать возможность бедным странам выбраться из нищеты. Между тем глобальный экологический след становится больше с каждым днем.

По этим причинам сегодня мы оцениваем перспективы развития мира гораздо пессимистичнее, чем в 1972 г. Печально, но факт: человечество впустую потратило целых 30 лет, обсуждая не те проблемы, что нужно, и принимая слабые, нерешительные меры по защите окружающей среды. Других 30 лет в запасе у нас нет, так что проявлять нерешительность просто некогда: слишком многое нужно изменить, если мы не хотим, чтобы сегодняшний выход за пределы привел к глобальной катастрофе уже в текущем веке.

Мы пообещали Дане Медоуз, незадолго до ее кончины в начале 2001 г., что обязательно опубликуем «30 лет спустя» — новое издание книги, которую она так любила. Совместная работа над ней в очередной раз напомнила нам, насколько разными были ожидания и надежды трех авторов.

Оптимизм Даны был неиссякаем. Она всегда верила в человеческие качества, излучая понимание и сочувствие. Всю свою жизнь она исходила из убеждения: если дать людям достаточно информации, то они в конце концов начнут вести себя обдуманно и осмотрительно и будут принимать верные решения, т. е. изменят поведение в глобальном масштабе, чтобы предотвратить выход за пределы (или, если он уже произошел, чтобы помочь миру вернуться в рамки разумного). Дана посвятила этому всю жизнь.

Йорген, напротив, наш главный циник. Он уверен, что человечество всегда будет преследовать кратковременные цели — увеличение потребления, рост занятости, финансовая безопасность, упорно игнорируя недвусмысленные предупреждения, пока не станет слишком поздно. Он с грустью отмечает, что общество по доброй воле отказывается от прекрасного мира, который был вполне возможен.

Деннис занимает промежуточную позицию. Он верит, что в конечном счете нужные меры все-таки будут приняты, и это позволит избежать худших вариантов будущего и глобальной катастрофы. Он надеется, что мир со временем выберет относительно устойчивое

будущее, но, видимо, только после урока в виде серьезного мирового кризиса. И результат запоздалых мер будет гораздо менее привлекателен, чем то, что могло бы быть, прими человечество нужные меры раньше. К этому времени в мире будет разрушено огромное количество прекрасных экосистем, человечество упустит множество политических и экономических возможностей, широко распространятся неравенство и несправедливость, общество будет милитаризовано, а конфликты и столкновения станут повседневными.

Слить воедино три такие разные точки зрения на наше будущее просто невозможно. Но все мы сходимся в том, что *могло бы быть*. Изменения, которые мы хотели бы видеть в мире, описаны в слегка обновленной главе — это завершающий раздел книги «За пределами роста», написанный Даной, и полный ее надежд. Мы изменили название, теперь оно звучит так: «Что нужно, чтобы перейти к устойчивому развитию». Основная идея состоит в том, что если мы продолжим распространять знания о проблеме, тогда все больше жителей планеты будут принимать правильные решения на основе любви и уважения ко всем обитателям Земли: людям, животным и растениям, тем, кто есть, и тем, кто будет. Мы всей душой надеемся, что это произойдет вовремя.

## Верны ли прогнозы книги «Пределы роста»?

Нас часто спрашивают, были ли правильны предсказания, приведенные в книге «Пределы роста»? Обратите внимание на постановку вопроса: это типичный язык газетчиков, а вовсе не наша терминология. Мы рассматриваем наше исследование как инструмент, с помощью которого можно изучать разные варианты будущего. Мы не пытаемся *предсказать* это будущее. Мы обрисовываем альтернативные сценарии, с которыми может столкнуться человечество к 2100 г. Тем не менее из прошедших 30 лет можно извлечь полезные уроки. Итак, что же происходило с той поры, как в марте 1972 г. из недр одного издательства в Вашингтоне, округ Колумбия, вышла книга в тонкой обложке?

Сначала раздались гневные отклики экономистов, а с ними и промышленных производителей, политиков и защитников стран третьего мира — их возмущало само наличие пределов у роста. Однако со временем жизнь подтвердила: идея ограниченной емкости мировой системы вовсе не абсурдна. У физического роста действительно есть пределы, и они очень сильно влияют на то, достигнем мы своих целей или нет. История показывает, что обществу не так-то просто сделать выбор: продуманные и осознательные действия, правильные



в долговременном масштабе, обычно воспринимаются как досадная помеха в достижении краткосрочных целей.

Исчерпание природных ресурсов и выбросы в окружающую среду с 1972 г. уже породили ряд кризисов, давая пищу средствам массовой информации, привлекая внимание публики и пробуждая от спячки политиков. Падение добычи нефти, истощение стратосферного озонового слоя, повышение средней глобальной температуры, голод, жаркие споры по поводу размещения ядовитых отходов, понижение уровня грунтовых вод, исчезновение биологических видов, сведение лесов — это только немногие из проблем, для обсуждения и решения которых проводятся исследования, международные встречи, заключаются соглашения... Все это подтверждает наш основной вывод: ограничение физического роста — важнейшая тема для международного обсуждения в XXI в.

Тем, кто больше уважает цифры, а не просто рассуждения, мы можем сообщить: итоговые сценарии модели *World3* оказались на удивление точными. Прошедшие 30 лет подтвердили это. Численность населения в 2000 г. — порядка 6 млрд человек в сравнении с 3,9 млрд в 1972 г. — оказалась именно такой, какой мы рассчитывали ее по модели *World3* в 1972 г.\* Более того, сценарий, показывавший рост мирового производства продовольствия с 1,8 млрд т в год в зерновом эквиваленте в 1972 г. до 3 млрд т в 2000 г., практически совпал с реальными цифрами\*\*. Доказывают ли такие совпадения, что наша модель была правильной? Разумеется, нет. Но они подтверждают, что модель *World3* вовсе не была абсурдной, как это заявляли критики. Ее предположения и наши заключения актуальны и сегодня.

Важно помнить, что для понимания основных выводов вовсе не обязательно самому устанавливать модель *World3* на компьютер и детально изучать ее. Самые важные выводы — о вероятности глобальной катастрофы — основаны вовсе не на слепой вере в графики, нарисованные моделью. Они вытекают из простого понимания динамики поведения глобальной системы, которая определяется тремя ключевыми факторами: существованием пределов, постоянным стремлением к росту, а также запаздыванием между приближением

\* См. книгу: *Meadows et al. The Dynamics of Growth in a Finite World*. С. 501 и 57. Расчетные численные значения, приведенные в книге «Пределы роста», совпали с фактическими данными, опубликованными в сборнике *Lester Brown et al. Vital Signs 2000*. New York: W. W. Norton, 2000. С. 99.

\*\* См. книгу: *Meadows et al. The Dynamics of Growth in a Finite World*, с. 501 и 264. Расчетные численные значения, указанные в книге «Пределы роста», прогнозировали увеличение производства зерна к 2000 г. на 67% относительно значений 1972 г., что довольно точно соответствует фактическому увеличению мирового производства зерна на 63% по данным сборника *Brown Vital Signs 2000*. С. 35.



к пределу и реакцией общества на это. Любая система, которой свойственны эти три фактора, рано или поздно выйдет за пределы и разрушится. Модель *World3* основана на причинно-следственных связях, которые описывают пределы, запаздывания и рост. Поскольку причинно-следственные связи в реальном мире никто не отменял, вас не должно удивлять, что реальный мир идет по пути, который был описан в сценариях «Пределов роста».

## Зачем нужна еще одна книга?

Какой же смысл публиковать обновленную версию книги «За пределами роста», если выводы двух предыдущих изданий принципиально не изменились? Основная наша цель — переформулировать аргументы 1972 г. и представить их в доступной форме, с более весомым обоснованием за счет статистических данных и конкретных примеров, накопленных за прошедшие десятилетия. Кроме того, мы хотели снабдить новой информацией преподавателей, использовавших наши предыдущие издания как учебное пособие для студентов и старших школьников. Книга «За пределами роста» по-прежнему помогает сформировать полезное представление о будущем, но любому преподавателю, ведущему занятия в XXI в., не очень-то удобно пользоваться графиками и таблицами, которые заканчиваются 1990 г.

Были и другие причины выпустить третье издание. Мы снова и снова пытаемся:

- донести до человечества информацию о том, что мир уже вышел за пределы и что правильные меры позволят существенно уменьшить негативные последствия;
- представить данные и выводы, которые опровергают бодрые заявления политиков о том, что человечество идет правильным путем;
- научить жителей планеты учитывать долговременные последствия своих действий, объединить их в стремлении уменьшить потери от выхода за пределы;
- представить модель *World3* вниманию нового поколения учащихся, студентов, исследователей и широкого круга читателей;
- показать, какого прогресса удалось достичь с 1972 г. в понимании долговременных причин и последствий роста.

## Сценарии и прогнозы

Мы писали эту книгу не для того, чтобы прогнозировать события, которые ждут нас в XXI в. Мы не предсказываем будущее, а просто

очерчиваем область возможных сценариев — десяток возможных путей, по которым может пойти мир в текущем столетии. Хочется, чтобы люди могли на этом учиться, размышлять и делать собственный выбор.

Мы далеки от мыслей о том, что статистика и разные теории когда-либо позволят точно предсказывать будущее мира на сотню лет вперед. Но мы уверены в том, что современный уровень знаний позволяет отбросить определенные варианты будущего как заведомо нереальные. Имеющиеся на сегодня факты говорят: многие из ожиданий человечества (например, постоянный рост в будущем) — недостижимые мечты. Привлекательные, но нереализуемые. Они кажутся логичными, но не дают результата. Наш труд будет не напрасен, если граждане планеты научатся анализировать свое поведение, станут более информированными и начнут уважительнее относиться к глобальным физическим пределам, ведь от этого зависит их будущая жизнь.

## **Книги и переход к устойчивому развитию**

Книга может показаться бесполезной для достижения устойчивости и самоподдержания. Однако наш опыт говорит о другом. В мире были проданы миллионы экземпляров «Пределов роста» и «За пределами роста». Первое издание вызвало ожесточенные споры по всему миру, второе позволило снова поднять волну обсуждения. Нам удалось привлечь внимание к экологическим проблемам на самом раннем этапе движения в защиту окружающей среды. Многие студенты, прочитавшие в свое время «Пределы роста», избрали для себя именно это направление и посвятили жизнь исследованиям в области устойчивого развития и наук об окружающей среде. Их усилия дали свои плоды.

Но некоторых целей наша работа так и не достигла. Мы рассчитывали, что книги «Пределы роста» и «За пределами роста» привлекут внимание к выходу за пределы устойчивости и позволят обществу понять, что рост — вовсе не панацея от всех бед. Мы ввели термин «пределы роста» в широкое использование. Однако оказалось, что это понятие многими воспринимается неправильно. Многие критики считают, что мы обеспокоены пределами только потому, что уверены: ископаемые виды топлива и некоторые другие ресурсы на планете скоро закончатся. На самом же деле наши опасения имеют более глубокие корни: мы предполагаем, что текущие тенденции приведут мир к выходу за пределы и катастрофе в результате безнадежных попыток победить экологические пределы. Мы уверены

в том, что современная экономика уже вышла за важные пределы и что ситуация в ближайшие десятилетия станет существенно хуже. В предыдущих книгах нам не удалось донести эту мысль до человечества в простом и понятном виде. И, к сожалению, нам совсем не удалось добиться того, чтобы проблему выхода за пределы приняли для повсеместного обсуждения политики и общество.

Полезно сравнить нашу работу с деятельностью тех групп (чаще всего состоящих из экономистов), кто потратил эти 30 лет на продвижение концепции свободной торговли. В отличие от нас, им удалось донести эту идею чуть ли не до каждой домохозяйки. Они смогли привлечь на свою сторону огромное количество политиков. Но они, как и мы, столкнулись с практически повсеместным неприятием своей теории, поскольку свободная торговля влечет за собой немедленный рост личных или общественных расходов, потерю рабочих мест и другие весьма неприятные последствия. В их случае тоже распространены неправильные представления — например, об итоговых плюсах и минусах практической реализации свободной торговли. И хотя в XXI в. выход за экологические пределы будет не в пример важнее, чем свободная торговля, тем не менее, эта тема пока привлекает гораздо меньше внимания публики. Наша книга — очередная попытка изменить такое положение вещей.

## **Выход за пределы и последствия на практике**

Выход за пределы и последующий упадок в социальной сфере станут результатом того, что общество недостаточно подготовилось к будущему. Искерпаемым ресурсам нет готовой замены, поэтому мир утратит определенные блага — запасы нефти начнут истощаться, улов рыбы будет все меньше, станет дороже древесина тропических лесов... Ситуация особенно печальна, если в результате выхода за пределы источник ресурса может быть разрушен — тогда человеческое общество ждет катастрофа.

Живым примером глобального выхода за пределы и его последствий может служить не столь давнее обрушение мирового рынка акций, когда на рубеже тысячелетий лопнул биржевой «пузырь». Хотя все это произошло не в физическом, а в финансовом мире, тем не менее, пример достаточно нагляден и позволяет хорошо изучить процесс «лопаяния пузыря». Искерпаемым ресурсом было доверие инвесторов.

Те события заслуживают краткого описания. Цена акций в период с 1992 г. по март 2000 г. выросла необычайно сильно — сейчас можно сказать, что это был пик неустойчивости. После прохожде-

ния пика акции дешевели добрых три года, пока не достигли минимума в марте 2003 г. Затем цены начали постепенно восстанавливать свои позиции — по крайней мере, к этому все шло в тот момент, когда писались эти строки (январь 2004 г.).

Подобно тому, как человечество сейчас совершенно не обеспокоено пределом возможностей среды по разложению выбросов, никто не испытывал опасений и в долгий период роста цен на акции. Наоборот, все излучали энтузиазм — еще бы, финансовые показатели и индексы тогда достигли небывалых высот. Что интересно, энтузиазм излучался даже тогда, когда цены на акции вошли в область неустойчивости, оглядываясь назад, можно сказать, что это произошло в 1998 г. Только после обрушения рынка, через много лет после того самого пика и даже через несколько лет после обвала цен инвесторы стали признавать, что это действительно был «пузырь». Именно так они называют выход за пределы. Поскольку обрушение уже шло полным ходом, предотвратить или замедлить его не удалось бы никому. В те три «черных» года многим казалось, что рынок акций уже никогда не восстановится. Доверие инвесторов было полностью подорвано.

Мы с грустью отмечаем, что, скорее всего, выход за пределы и последующий кризис с исчерпанием мировых ресурсов и чрезмерными выбросами загрязнений будет развиваться по той же схеме, что и обвал рынка акций, вот только временные периоды будут гораздо продолжительнее. Пока идет рост, все празднуют. И продолжают радоваться даже после того, как пройден максимум, и система переходит в область неустойчивости (а мы знаем, что это уже произошло). Кризис настанет внезапно, и все очень удивятся. Через несколько тяжелых лет станет очевидно, что период непосредственно перед кризисом был совершенно неустойчивым. Когда пройдет еще немного времени, многим станет казаться, что спад никогда не кончится. Мало кто сможет сохранить надежду на то, что когда-нибудь в мире снова настанет изобилие энергии, а моря наполнятся рыбой... Очень хочется верить, что это не станет грустной действительностью.

## Планы на будущее

Сначала пределы роста были вопросом далекого будущего. Сейчас они очевидны. Сначала глобальная катастрофа казалась чем-то непостижимым, нереальным, невозможным. Сейчас об этом рассуждают многие, хотя скорее как об отдаленной перспективе, некоей гипотетической возможности. Мы считаем, что примерно через 10 лет

последствия выхода за пределы будут уже хорошо заметны, а через 20 общество открыто признает этот факт. Сценарии, приведенные в этой книге, показывают, что в первое десятилетие XXI в. рост будет продолжаться — так же, как это показывали сценарии «Пределов роста» 30 лет назад. Можно сказать, наши ожидания от периода 1970–2010 гг. мало чем отличаются от ожиданий тех, кто нас столько критиковал. Всем нам придется подождать еще лет 10, чтобы окончательно выяснить, кто был прав.

Мы планируем выпустить четвертое издание в 2012 г., в 40-ю годовщину выхода первой книги. К тому времени, наверное, будет вдоволь статистических данных, прямо свидетельствующих о выходе за пределы. Тогда мы сможем подтвердить свою правоту или будем вынуждены признать, что технологии и рыночная экономика сумели сдвинуть глобальные пределы вверх, намного выше, чем текущие потребности человеческого общества. Либо уменьшение численности населения и упадок экономики приблизятся и станут неизбежны, либо мир будет располагать еще многими десятилетиями для роста. Пока не вышло четвертое издание, вам придется формировать собственное мнение о причинах и следствиях роста экологической нагрузки. Мы надеемся, что информация, содержащаяся в этой книге, поможет вам в этом.

*Деннис Л. Медоуз, Дарем, Нью-Гемпшир, США  
Йорген Рандерс, Осло, Норвегия  
Январь 2004 г.*

## Выход за пределы

---

Будущее больше не кажется таким, каким оно могло быть, если бы люди научились эффективно использовать свой разум и открывающиеся возможности. Но будущее все еще может стать таким, как мы хотим, если только наши пожелания будут разумны и реалистичны.

*Аурелио Печчеи, 1981 г.*

Что значит «выйти за пределы»? Это означает, что в какой-то момент вы зашли слишком далеко — непреднамеренно вышли за допустимые рамки. В повседневной жизни мы каждый день выходим за какие-нибудь пределы. Если резко встать со стула, можно потерять равновесие. Если слишком резко отвернуть горячий кран в душе, можно обжечься. На обледенелом шоссе автомобиль может затормозить с опозданием и проскочить линию остановки перед светофором. Если перебрать с алкоголем на вечеринке и выпить больше, чем организм в состоянии спокойно перенести, то утром вы будете мучиться от похмелья. Строительные компании порой строят больше домов, чем люди в состоянии купить, и тогда приходится продавать жилье по заниженным ценам, рискуя обанкротиться. Бывает, что на воду спускают слишком много рыболовецких судов, и тогда флот становится таким большим, что улов превышает допустимые пределы. Популяция рыбы не может восстановиться, рыбные ресурсы истощаются, и тогда судам не останется ничего другого, кроме как стоять в гавани. Химические компании напускали столько хлорсодержащей продукции, что верхние слои атмосферы не в состоянии с этим справиться. И теперь многие десятилетия озоновый слой будет оставаться истощенным, пока количество стратосферного хлора не уменьшится.

Существуют три основных причины выхода за пределы. Они всегда одни и те же, независимо от масштаба явления — от личного

уровня до глобального. Во-первых, это рост (причем порой ускоряющийся) и слишком быстрые изменения. Во-вторых, всегда существует некий предел или ограничение, за которыми деятельность системы перестает быть безопасной. В-третьих, часто между событием и откликом на него бывает запаздывание, к тому же не всегда этот отклик интерпретируется правильно — так, чтобы вернуть систему в допустимые пределы. Эти три причины — необходимые и достаточные условия для выхода за пределы.

Выход за пределы встречается буквально везде и принимает самые разные формы. Это явление может быть физическим: например, рост потребления нефти. Оно может быть организационным: например, увеличение количества подчиненных. Оно может быть психологическим: пристрастие к постоянному увеличению личного потребления. Оно может происходить в финансовой сфере, на политической арене, в биологических системах — в любой области нашей жизни.

Таковыми же разнообразными бывают и пределы. Они могут заключаться в ограниченности пространства или времени. Устойчивость физических, биологических, политических, физиологических и прочих систем к нагрузкам тоже не беспредельна.

Наконец, и запаздывания тоже могут быть разными. Они могут стать следствием невнимательности, недостоверности данных, задержки информации, медленной реакции, неповоротливости или коррумпированности бюрократического аппарата, ложных представлений об откликах системы или просто инерции. Например, водитель, несущийся сломя голову по обледевшей дороге, явно не учитывает, что тормозной путь будет длиннее, чем обычно. Строители основывают свои проекты на текущих ценах, хотя на рынке готовое жилье появится двумя или тремя годами позже. Рыболовецкий флот наращивает свои мощности на основе прошлого улова, а не данных о будущем воспроизводстве рыбных ресурсов. Химические соединения могут годами перемещаться в окружающей среде от места использования до точки, где их присутствие вызовет тяжелые последствия.

Многие случаи выхода за пределы не приносят большого вреда. Опыт по выходам за пределы, накопленный каждым из нас, позволяет избегать тяжелых последствий. Многие пределы встречаются в жизни достаточно часто, и к тому моменту, когда ситуация становится действительно опасной, мы уже знаем, как избежать проблем или хотя бы минимизировать ущерб. Например, перед тем, как встать под сильную струю душа, мы пробуем температуру воды рукой. Бывает и так, что вред нанесен, но быстро компенсируется: перебрав

накануне в баре, утром мы поспим подольше и снова будем в полном порядке.

Однако иногда существует риск выхода за пределы с катастрофическими последствиями. Рост численности населения земного шара и физического капитала толкает человечество к краю пропасти. И наша книга именно об этом.

В ней мы постараемся преодолеть сложности в понимании и описании причин и следствий роста численности населения и капитала, их выхода за пределы самоподдержания Земли. Эти процессы сложны и многогранны. Надежных данных часто не хватает, они могут быть неточными или неполными. Уровень развития науки пока не позволил достичь согласия даже среди ученых, что уж говорить о политиках. Тем не менее нужен какой-то показатель, который может отразить зависимость между запросами человечества в глобальном масштабе и тем, что физически может предоставить нам планета. Этот показатель мы будем называть нагрузкой на окружающую среду, или *экологическим следом человечества*.

Его предложили в своем исследовании Матис Вакернагель с коллегами — их доклад был представлен на Всемирном совете экологических инициатив (International Council for Local Environment Initiatives, ICLEI) в 1997 г. Вакернагель рассчитал размеры территории, которая нужна для того, чтобы обеспечить человечество всеми необходимыми ресурсами и при этом справиться со всеми выбросами и отходами\*. Предложенный Вакернагелем показатель и математические методы затем взял на вооружение Всемирный фонд дикой природы (World Wide Fund for Nature), который теперь каждые полгода публикует данные по величине экологического следа для более 150 стран в своем «Отчете о живой планете» (*Living Planet Report*)\*\*. По данным отчетов получается, что с конца 1980-х гг. население планеты каждый год использует больше ресурсов, чем может быть восстановлено за тот же период. Другими словами, экологический след человечества превышает способность среды восстанавливаться. Это заключение подкрепляется огромным объемом данных, и мы вернемся к этому вопросу в главе 3.

\* См.: Wackernagel M. et al. Ecological Footprints of Nations: How Much Nature Do They Use? How Much Nature Do They Have? (Xalapa, Mexico: Centro de Estudios para la Sustentabilidad [Center for Sustainability Studies], March 10, 1997). См. также: Wackernagel M. et al. Tracking the Ecological Overshoot of the Human Economy // *Proceedings of the Academy of Science*. 2002. 99. № 14. С. 9266–9271. Материалы доступны также на сайте [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.142033699](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.142033699).

\*\* См.: World Wide Fund for Nature. *Living Planet Report 2002* (Gland, Switzerland: WWF, 2002).



Потенциальные последствия такого выхода за пределы чрезвычайно опасны. Эта ситуация уникальна; перед человечеством встают проблемы, которые раньше в таких масштабах никогда не встречались. Чтобы справиться с ними, нам не хватает ни умения рассчитывать на годы вперед, ни культурных традиций, ни нужных привычек, ни соответствующих общественных институтов. На устранение последствий подобного выхода за пределы потребуются сотни, а то и тысячи лет.

Однако последствия не обязательно должны быть катастрофическими. Выход за пределы может вести человечество по двум возможным путям. Первый из них — крах в той или иной форме и степени. Второй — осознанный поворот, коррекция, исправление курса, осторожное смягчение напряженности. В книге мы рассматриваем оба варианта, их влияние на человеческое общество и состояние планеты. Мы верим в то, что второй вариант — коррекция — возможен, и что он способен привести к желаемому будущему для всех людей мира, устойчивому, справедливому и обеспеченному. Но мы уверены и в том, что если не принять серьезные меры в самое ближайшее время, то крах будет неизбежен. И наступит он еще при жизни сегодняшнего поколения.

Это заявление чудовищно. Как же мы пришли к нему? За прошедшие 30 лет мы и многие наши коллеги работали над анализом долговременных причин и следствий роста численности населения и вызванной этим экологической нагрузки. Мы использовали четыре разных подхода — можно сказать, четыре увеличивающих прибора разной кратности, позволяющих взглянуть на мир с нескольких точек зрения, подобно тому, как линзы микроскопа и телескопа позволяют увидеть разные картины. Три из них широко известны, их легко описать: 1) стандартные научные и экономические теории глобальной системы; 2) статистические данные по окружающей среде и мировым ресурсам; 3) компьютерная модель, позволяющая обобщить всю информацию и сделать выводы. Большая часть нашей книги построена на этих трех подходах: мы рассказываем, как их применили и что это дало.

Четвертый подход — это наши мировоззрение, личные позиции, ценности — основа нашего взгляда на окружающую действительность. Каждый по-своему воспринимает мир; от внутренних убеждений человека зависит, что он видит, а что нет — это своеобразный фильтр. Ту информацию об окружающем мире, которая соотносится с внутренними (часто подсознательными) убеждениями или ожиданиями, человек воспринимает легко. Если же информация не соответствует ожиданиям, человек склонен пренебрегать ею; он ей не

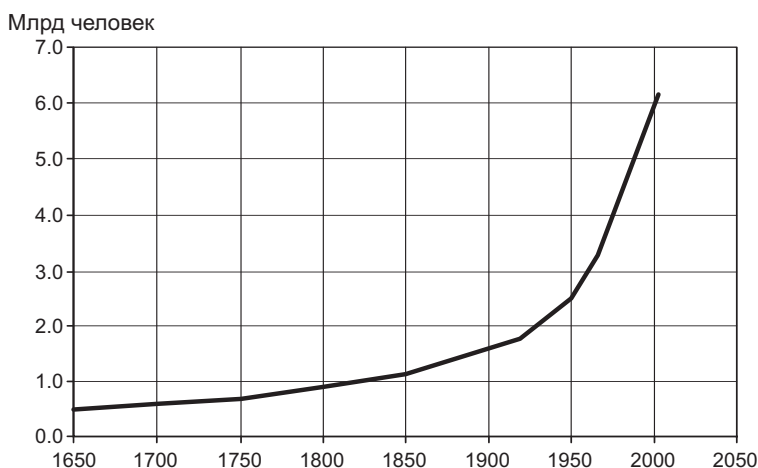
доверяет или даже отрицает ее. Когда человек смотрит через фильтр, словно через цветное стекло, он видит *сквозь*, но при этом не замечает самого стекла. То же самое происходит с мировоззрением. Если человек разделяет ваше мировоззрение, нет никакой нужды давать пояснения — он и так на вашей стороне. Если же нет, то объяснить ему вашу позицию очень сложно. Всегда нужно помнить, что любая книга, компьютерная модель или официальное заявление построены на мировоззрении их авторов не в меньшей степени, чем на «объективных» данных или анализе.

Никто не может полностью абстрагироваться от своего мировоззрения, и мы сами не исключение. Но зато мы можем донести до читателей его ключевые положения. Наше мировоззрение сформировалось под влиянием западного индустриального общества (мы в нем выросли), научно-экономических исследований, поездок по всему миру и уроков, которые из этого удалось вынести. Самая важная составляющая нашего восприятия (что, наверное, меньше всего разделяют другие люди) — это взгляд на мир как систему.

Как любая точка наблюдения — например, вершина холма — системный подход позволяет человеку увидеть то, что с других точек зрения заметить невозможно, но при этом от взгляда могут ускользнуть другие вещи. Системный подход уделяет пристальное внимание динамическим системам — наборам взаимосвязанных материальных и нематериальных элементов, меняющихся со временем. Он позволяет увидеть мир как совокупность моделей поведения, таких как рост, спад, колебания, выход за пределы. Он позволяет сосредоточиться не на отдельных элементах, а на связях между ними. Мы рассматриваем окружающую среду, экономику и демографию (сколько бы внутренних элементов и факторов они ни насчитывали) как *единую глобальную систему* с огромным количеством взаимосвязей. Мы наблюдаем за уровнями, потоками, обратными связями, пороговыми значениями, и все они влияют на поведение системы в будущем и на те меры, которые мы можем предпринять, чтобы изменить его.

Системный подход ни в коей мере не единственно возможный способ изучения мира, но он чрезвычайно информативен. Он позволяет найти новые подступы к старым проблемам и обнаружить пути решения, о которых мы и не подозревали. Мы попытаемся изложить особенности системного подхода в этой книге, предоставляя вам оценить их и сделать собственные выводы о состоянии мира и о том, что ожидает его в будущем.

Структура книги определяется последовательностью, в которой проходил анализ глобальной системы. Базовые положения мы уже привели. Выход за пределы становится следствием трех факторов:



**Рис. 1.1.** Численность населения мира

С начала промышленной революции численность населения мира экспоненциально увеличивается. Обратите внимание на форму кривой и растущие изменения со временем — это признаки экспоненциального роста. В настоящее время рождаемость уменьшается, однако замедление роста настолько незначительно, что его едва можно заметить. В 2001 г. прирост населения составлял 1,3% в год, что соответствует времени удвоения в 55 лет. (Источники: PRB, UN, D. Bogue.)

1) стремительных изменений; 2) пределов, за которые эти изменения не должны выходить; 3) ошибок или запаздывания в восприятии этих пределов и в управлении изменениями. Мы рассмотрим состояние мировой системы в следующем порядке: сначала движущие силы, приводящие к быстрым изменениям в мировом масштабе, затем глобальные пределы и, наконец, способы, с помощью которых человеческое общество может обнаруживать пределы и правильно реагировать на них.

Следующую главу мы начнем с изучения самого процесса изменения. Абсолютные скорости изменений в мире сейчас выше, чем когда бы то ни было на протяжении человеческой истории. В основном эти изменения вызваны экспоненциальным ростом численности населения и материального производства. Уже более двухсот лет рост определяет поведение глобальной социально-экономической системы. На рис. 1.1 показано, что численность населения продолжает расти, несмотря на некоторое снижение рождаемости в ряде стран. На рис. 1.2 отражен рост промышленного производства, тоже продолжающегося, несмотря на периодические спады, вызванные скачками цен на нефть, террористическими актами, эпидемиями и другими краткосрочными факторами. Производство промышленной



**Рис. 1.2.** Мировое промышленное производство

Мировое промышленное производство в сравнении с уровнем 1963 г. демонстрирует четкий экспоненциальный рост, несмотря на отдельные флуктуации (следствие скачков цен на нефть и спадов финансовой активности). Среднегодовые темпы роста за последние 25 лет составляют порядка 2,9%, что соответствует времени удвоения 25 лет. Рост производства на душу населения происходит медленнее, поскольку численность населения увеличивается — темп роста составляет 1,3% в год, что эквивалентно времени удвоения 55 лет. (Источники: UN; PRB.)

продукции растет быстрее, чем численность населения, и это приводит к некоторому повышению среднего уровня благосостояния.

Рост численности населения и промышленного производства отражается на многих других элементах глобальной системы. Например, растут концентрации различных видов загрязнений. На рис. 1.3 показан рост атмосферной концентрации основного загрязнителя — диоксида углерода, одного из парниковых газов, концентрация которого растет в результате сжигания ископаемого топлива и сведения лесов.

Другие графики, приведенные в этой книге, иллюстрируют рост производства продовольствия, городского населения, потребления энергии, использования различных материалов и многие другие физические показатели деятельности человека на планете. Не все они растут одинаково. По табл. 1.1 можно увидеть, насколько разнятся скорости роста. Одни показатели увеличиваются, но медленнее, чем раньше, хотя и в этом случае рост продолжается ощутимыми темпами. Зачастую уменьшение темпа не может остановить сам рост, так как даже маленький процент прироста от большой базы дает значительное увеличение. Так происходит с восемью из четырнадцати показателей табл. 1.1. За последние полвека численность населения увеличилась многократно; освоенные людьми территории, потоки



**Рис. 1.3.** Концентрация в атмосфере диоксида углерода

Концентрация CO<sub>2</sub> в атмосфере возросла приблизительно с 270 частей на миллион до 370 частей на миллион в 2000 г. и продолжает расти. Основные источники поступления в атмосферу диоксида углерода — сжигание человеком ископаемых видов топлива и сведение лесов. Последствие — глобальное изменение климата. (Источники: UNEP; U.S. DoE.)

вещества и энергии увеличились в 2, 4, 10 раз и больше; при этом человечество рассчитывает на еще больший рост в будущем.

*Таблица 1.1*

**Показатели роста в некоторых областях человеческой деятельности (1950–2000 гг.)**

| Показатель                                                  | 1950 г. | 1975 г./<br>1950 г. | 1975 г. | 2000 г./<br>1975 г. | 2000 г. |
|-------------------------------------------------------------|---------|---------------------|---------|---------------------|---------|
| Численность населения, млрд человек                         | 2520    | 160%                | 4077    | 150%                | 6067    |
| Количество зарегистрированных транспортных средств, млн шт. | 79      | 470%                | 328     | 220%                | 723     |
| Годовое потребление нефти, млрд баррелей                    | 3800    | 540%                | 20 512  | 130%                | 27 635  |
| Годовое потребление природного газа, трлн куб. м            | 182     | 680%                | 1243    | 210%                | 2646    |

Окончание табл. 1.1

| Показатель                                 | 1950 г. | 1975 г./<br>1950 г. | 1975 г. | 2000 г./<br>1975 г. | 2000 г. |
|--------------------------------------------|---------|---------------------|---------|---------------------|---------|
| Годовое потребление каменного угля, млрд т | 1400    | 230%                | 3300    | 150%                | 5100    |
| Установленная мощность электростанций, ТВт | 154     | 1040%               | 1606    | 200%                | 3240    |
| Годовое производство кукурузы/маиса, млн т | 131     | 260%                | 342     | 170%                | 594     |
| Годовое производство пшеницы, млн т        | 143     | 250%                | 356     | 160%                | 584     |
| Годовое производство риса, млн т           | 150     | 240%                | 357     | 170%                | 598     |
| Годовое производство хлопка, млн т         | 5,4     | 230%                | 12      | 150%                | 18      |
| Годовое производство древесины, млн т      | 12      | 830%                | 102     | 170                 | 171     |
| Годовое производство железа, млн т         | 134     | 350%                | 468     | 120%                | 580     |
| Годовое производство стали, млн т          | 185     | 350%                | 651     | 120%                | 788     |
| Годовое производство алюминия, млн т       | 1,5     | 800%                | 12      | 190%                | 23      |

(Источники: PRB; American Automobile Manufacturers Association; Ward's Motor Vehicle Facts & Figures; U.S. DoE; UN; FAO; CRB.)

Люди поддерживают идеи роста, поскольку полагают, что это приведет к повышению их благосостояния. Правительственные чиновники уверены в том, что рост — универсальное средство буквально от любых проблем. В богатых странах полагают, что рост необходим для того, чтобы увеличивались занятость, социальная мобильность, техническая оснащенность. В бедных странах рост воспринимается как единственное средство выбраться из нищеты. Многие считают, что рост необходим для того, чтобы располагать достаточными ресурсами для защиты окружающей среды. Правительства и руково-

дители корпораций делают все возможное и невозможное для того, чтобы рост продолжался.

Все это приводит к тому, что рост воспринимается как нечто позитивное, желаемое, к чему следует стремиться всегда и везде. Вспомните синонимы роста: *расширение, прогресс, продвижение, увеличение, достижение, улучшение, процветание, успех...*

Таковы психологические и организационные движущие силы роста. Есть еще так называемые *структурные причины*, кроющиеся внутри связей между элементами демографо-экономической системы. В главе 2 будут обсуждаться структурные причины роста и описываются их последствия, чтобы ответить на вопрос: *почему* рост стал доминирующей характеристикой поведения мировой системы?

Рост может решить одни проблемы, но при этом создает другие, поскольку у него есть пределы — это будет описано в главе 3. Земля не безгранична. Рост любого материального показателя, будь то численность населения, количество автомобилей, домов или заводов, не может продолжаться бесконечно. Но предельное количество людей, машин, зданий и фабрик нельзя рассчитать напрямую — только косвенно, через пределы *потоков* энергии и материалов, необходимых для поддержания жизни этих людей, создания и функционирования машин, зданий и фабрик. Это пределы скорости, с которой человечество может извлекать ресурсы (выращивать зерновые и кормовые культуры, добывать древесину, вылавливать рыбу) и выбрасывать отходы (парниковые газы, токсичные вещества), не подрывая продуктивность среды и не превышая ее способность разлагать загрязнения.

Население и экономика зависят от потоков воздуха, воды, продовольствия, сырья и ископаемого топлива, даваемых планетой. Производимые отходы и загрязнения возвращаются назад, в окружающую среду. Источники включают в себя сырьевые месторождения, водоносные горизонты, запасы питательных веществ в почве. К стокам относятся атмосфера, поверхностные водоемы и мусорные свалки. Физические пределы роста — это пределы способности глобальных источников предоставлять нам потоки сырья и энергии, а стоков — поглощать загрязнения и отходы (схема 1).

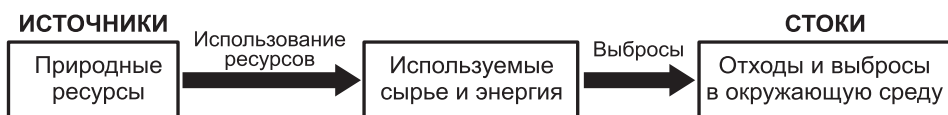


Схема 1. Источники и стоки

В главе 3 мы будем анализировать состояние мировых источников и стоков. Данные, которые в ней приводятся, образуют классическое сочетание «плохая новость — хорошая новость».

Плохая новость состоит в том, что многие важнейшие источники истощаются и деградируют, а большинство стоков уже переполнено. *Потоки, используемые экономической системой в настоящее время, невозможно поддерживать в таких масштабах продолжительное время.* Некоторые источники и стоки уже находятся на пределе, их рост уже начинают ограничивать различные факторы — например, повышение цен, налогов на выбросы в окружающую среду, наконец, увеличение смертности.

Хорошая новость заключается в том, что *существующие темпы использования ресурсов вовсе не являются необходимыми, чтобы поддерживать достойный уровень жизни всех людей на планете.* Нагрузку на окружающую среду можно снизить за счет уменьшения численности населения, изменения норм потребления, применения ресурсосберегающих технологий. Такие изменения вполне возможны. У человечества есть все необходимые знания для того, чтобы поддерживать вполне достаточный уровень услуг и производства товаров при одновременном существенном снижении негативного воздействия на планету. Теоретически существует множество способов вернуть экологический след человечества в пределы допустимого.

Однако теория не воплощается на практике автоматически. Пока что необходимые изменения, которые могут уменьшить экологический след, либо совсем не проводятся, либо реализуются недостаточно быстро, чтобы снять чрезмерную нагрузку с источников и стоков. Так происходит потому, что нет прямых и видимых причин, вынуждающих пойти на подобные изменения немедленно. К тому же это не может произойти мгновенно — изменения в любом случае займут много времени. Этой теме посвящена глава 4 — в ней обсуждаются тревожные сигналы, предупреждающие человечество о том, что оно вышло за пределы, и скорость, с которой общество может на них реагировать.

В главе 4 мы обратимся к нашей компьютерной модели *World3* — она позволит свести воедино множество теорий и статистических данных, чтобы в доступной форме представить картину мира: рост, пределы, задержки отклика... Модель — хороший инструмент для изучения будущих последствий наших сегодняшних действий. Компьютер имитирует будущее поведение глобальной системы, исходя из того, что в ней не будет ни радикальных изменений, ни попыток изменить существующие тенденции или решить проблемы, пока ситуация не дойдет до крайности.



Результат такого имитационного моделирования — практически в каждом сценарии — выход за пределы, катастрофа мировой экономики и резкое неконтролируемое снижение численности населения.

К счастью, не все сценарии приводят к катастрофе — есть и исключения. В главе 5 мы приведем очень наглядный пример из жизни, демонстрирующий, что человек способен предвидеть развитие событий, обнаружить наличие предела и вовремя отступить. Речь о том, как мировое сообщество в 1980-х гг. отреагировало на известие о разрушении стратосферного озонового слоя. Этот случай поучителен по двум причинам. Во-первых, он опровергает широко распространенное мнение о том, что люди, правительства и корпорации в принципе не обладают дальновидностью и предусмотрительностью и потому никогда не смогут договориться и принять совместные меры к решению мировых проблем. Во-вторых, он отлично иллюстрирует все три фактора, вызывающих выход за пределы: быстрый рост, наличие пределов и задержку отклика (как от ученых, так и от политиков).

История про истощение стратосферного озонового слоя и меры, принятые человеком, похожа на сказку со счастливым концом, но на самом деле ее финальные страницы будут написаны только через несколько десятков лет. Она служит примером того, как трудно управлять сложной экономикой в рамках еще более сложной, полной взаимосвязей глобальной системы, особенно если отклики в ней запаздывают, система в целом обладает огромной инерцией, и ни у кого нет полного представления о том, что происходит.

В главе 6 мы используем компьютер по его прямому назначению: не для предсказания того, *что произойдет* в результате существующих тенденций, а для анализа вариантов, которые *могут стать реальностью*, если человечество предпримет определенные меры. Мы учли в модели *World3* склонности человека к изобретательству и сконцентрировались на двух путях решения проблем — рыночном и технологическом. Множество людей возлагает на них большие надежды. Два этих пути и так были опосредованно заложены в модель *World3*, но в главе 6 им уделяется особое внимание. Мы проанализируем, что может произойти, если мировое сообщество приложит целенаправленные усилия, чтобы контролировать выбросы загрязнений, обеспечить защиту окружающей среды и здоровья человека, наладить переработку вторичного сырья и добиться гораздо более эффективного использования доступных ресурсов, чем сейчас.

Из полученных сценариев модели *World3* мы узнали, что все эти усилия могут помочь лишь отчасти — сами по себе они недостаточны, ведь отклики рынка и технологической сферы не всегда можно правильно интерпретировать, к тому же они поступают с большим запаздыванием. Реализация подобных мер требует времени, денег,

потоков сырья и энергии, и даже в этом случае их может свести на нет рост численности населения и капитала. Чтобы избежать глобальной катастрофы и привести человечество к самоподдержанию, технический прогресс и приспособляемость рынка необходимы, но не достаточны. Нужно что-то еще. Что именно — описывается в главе 7.

В ней мы используем модель *World3*, чтобы показать, что произойдет, если к своей изобретательности люди добавят еще и мудрость. Мы полагаем, что мир примет два представления о *достаточности*, и будет действовать в соответствии с ними: одно касается материального потребления, другое — размера семьи. Эти шаги вместе с технологическими изменениями, которые мы описали в главе 6, делают возможными стабилизацию численности населения на уровне 8 млрд человек и переход к самоподдержанию. Все 8 млрд человек имеют уровень благосостояния, эквивалентный современному уровню в европейских странах с невысокими доходами. И если предположить, что эффективность технологий и рынка будет только увеличиваться, то материальные и энергетические потоки, необходимые для такого существования, планета сможет поддерживать бесконечно долго. В этой главе мы покажем, что даже после выхода за пределы все-таки можно вернуться к устойчивому состоянию.

Устойчивость, или самоподдержание, — настолько непривычный образ мыслей для современной культуры, буквально одержимой ростом, что в главе 7 мы уделяем особое место описанию того, каким *может* быть устойчивый мир и каким он быть *не должен*. Нет никаких причин для того, чтобы в устойчивом мире кто бы то ни было жил в нищете. Напротив, мы считаем, что в таком мире каждому должен быть обеспечен достойный уровень жизни. Мы вовсе не думаем, что устойчивый мир обязан быть застывшим, скучным, однообразным и не способным к адаптации. Он не должен и, наверное, просто не сможет быть авторитарным или контролируемым централизованно. Это мир, у которого есть время, ресурсы и желание исправлять свои ошибки, изобретать новое и сохранять продуктивность глобальных экосистем. Такой мир может сосредоточиться на продуманном увеличении уровня жизни, а не на бессмысленном увеличении потребления или наращивании физического капитала.

Глава 8, заключительная, в большей степени посвящена стереотипам нашего мышления, а не статистическим данным или компьютерным моделям. В ней описаны меры, которые, по нашему мнению, следует неотложно предпринять. Глобальная модель *World3* дает основания как для пессимистичной, так и для оптимистичной оценки нашего будущего. Мнения авторов на сей счет разделились. Деннис и Йорген считают, что грядущее снижение среднего уровня жизни уже неизбежно и, скорее всего, мировой экономике и числен-

ности населения предстоит пережить серьезный спад. Донелла же всю свою жизнь верила, что человечество научится предусмотрительности и достигнет нужного этического и организационного уровня, чтобы построить привлекательное и устойчивое общество. Но даже несмотря на различия в точках зрения, все мы сходимся в том, какие именно меры следует предпринять, и приводим их в главе 8.

В ее первой части мы расставляем приоритеты, определяя, какие действия могут минимизировать вред, наносимый планете и обществу. Во второй части описываются пять инструментов, пять способов, которые могут помочь мировому сообществу перейти к самоподдержанию.

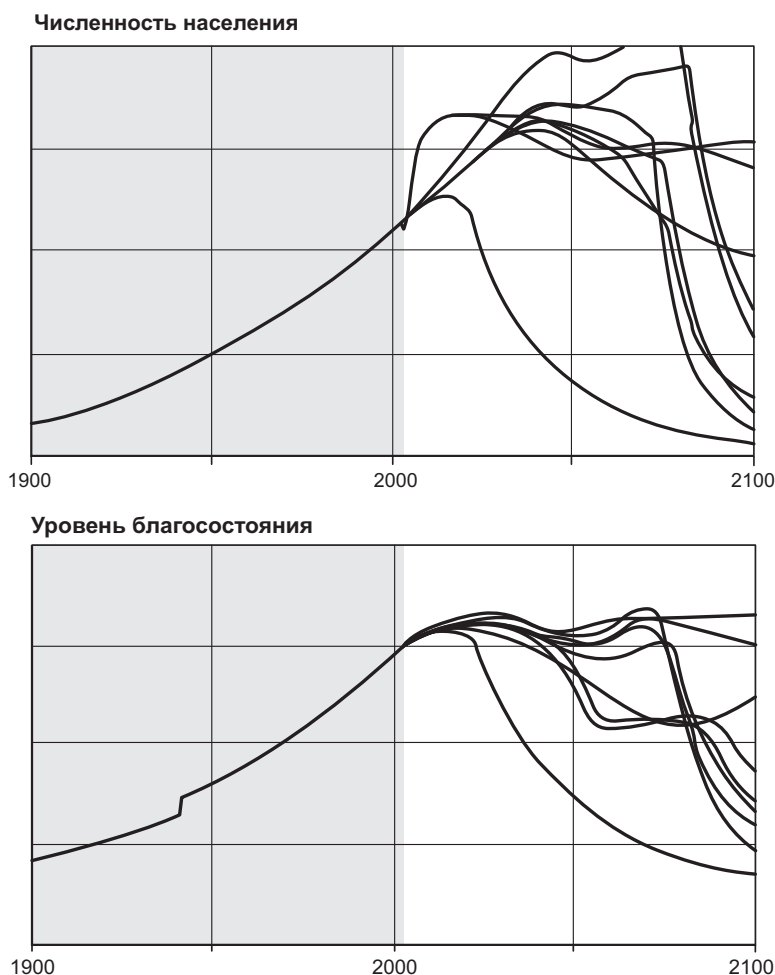
Независимо от того, что ждет нас в будущем, мы все равно узнаем, к чему все идет в ближайшие 20 лет. Мировая экономика уже настолько вышла за пределы устойчивости, что времени на детские фантазии о бесконечном мире уже не осталось. Привести мир в устойчивое состояние — задача очень непростая. Для этого потребуются такие же фундаментальные изменения, какими в свое время были сельскохозяйственная и промышленная революции. Мы осознаем, как сложно решить проблемы нищеты и безработицы, ведь до сих пор рост был единственной надеждой человечества. Но мы также знаем, что полагаться на рост нельзя, поскольку его невозможно поддерживать бесконечно. Слепая вера в физический рост в ограниченном мире только ухудшает положение дел. Можно найти другие пути.

Практически все, что мы написали в «Пределах роста» 30 лет назад, остается правдой. Однако наука и общество за это время достигли нового уровня. Человечество многому научилось, перед ним открылись новые перспективы. И статистические данные, и компьютер, и наш собственный опыт говорят нам, что возможных путей к устойчивому будущему со времен 1972 г. стало гораздо меньше. Уровень достатка, который мы могли бы обеспечить всем людям мира, прими мы оперативные меры, уже недостижим. Экосистемы, которые можно было уберечь, исчезли. Ресурсы, которые могли бы поддерживать благосостояние будущих поколений, израсходованы. Однако еще остается множество доступных вариантов, и их можно воплотить в жизнь. На рис. 1.4 показано, как много у нас еще остается разных возможностей. На нем изображены графики численности населения и уровня благосостояния, полученные в девяти основных компьютерных сценариях — все они приводятся в книге\*.

Варианты возможного будущего включают в себя большое разнообразие путей. Могут произойти резкий спад и катастрофа, но мо-

\*

Сравнение включает все сценарии, кроме двух (не приводятся сценарии 0 и 10, которые иллюстрируют абсолютно нереальные перспективы мира).



**Рис. 1.4.** Альтернативные сценарии: численность населения и уровень благосостояния

На диаграммы наложены все основные сценарии модели *World3*, описанные в книге: это позволяет проиллюстрировать разнообразие возможных вариантов развития по двум показателям — численности населения и среднему уровню жизни (в котором учитывается как доход на душу населения, так и другие индикаторы материального благосостояния). Большинство сценариев показывает упадок, однако в некоторых случаях обществу удается достичь стабильной численности населения при устойчиво высоком уровне благосостояния.

жет стать реальностью и постепенный переход к самоподдержанию. Среди вариантов нет только одного: бесконечного роста в физически ограниченном пространстве. Он просто невозможен — планета имеет физические пределы. Единственный реальный путь — привести

потоки, поддерживающие существование человека, в соответствии с допустимыми уровнями. Либо мы сделаем это сами — сознательно, с помощью технических и организационных мер, либо природа сделает это за нас — наступит нехватка продовольствия, сырья, энергии, или среда станет неблагоприятной для проживания.

В 1972 г. мы начали книгу «Пределы роста» цитатой из выступления У Тана, тогдашнего Генерального секретаря ООН:

---

«Не хочу чрезмерно драматизировать ситуацию, но на основе информации, доступной мне как Генеральному секретарю, я могу заключить, что у стран — членов ООН, возможно, осталось в запасе 10 лет на то, чтобы прекратить свои давние споры и наладить глобальное сотрудничество ради обуздания гонки вооружений, оздоровления окружающей среды, приостановки взрывного роста численности населения и придания необходимого импульса усилиям по обеспечению развития. Если такое сотрудничество не будет налажено в течение следующего десятилетия, я очень опасюсь, что перечисленные мной проблемы станут настолько непредсказуемыми, что полностью выйдут из-под нашего контроля»<sup>\*</sup>.

---

Прошло больше 30 лет, а мировое сотрудничество до сих пор так и не налажено. Человечество погружается в пучину проблем, которые уже вышли из-под контроля — с этим сейчас соглашаются многие. Опасения Генерального секретаря подтверждаются огромным количеством статистических данных и новейших исследований.

В 1992 г. слова У Тана эхом отозвались в отчете «Предостережение человечеству от ученых мира», которое подписали более 1600 ученых из 71 страны мира, и среди них 102 лауреата Нобелевской премии:

---

«Человечество и природа находятся в состоянии конфликта. Человеческая деятельность наносит глубокий и часто непоправимый вред окружающей среде и ключевым ресурсам. Если не взять это под контроль, под ударом окажутся и будущее человечества, и места обитания животных и растений. Мир изменится, в нем уже не будет жизни в том виде, в котором мы ее знаем. Существующий курс ведет к мировому кризису. Если мы хотим избежать его, необходимо принимать срочные меры»<sup>\*\*</sup>.

---

<sup>\*</sup> U Thant, 1969.

<sup>\*\*</sup> См.: «World Scientists' Warning to Humanity», December 1992; обращение доступно в объединении ученых Union of Concerned Scientists, 26 Church Street, Cambridge, MA 02238. Отчет также доступен на сайте [www.ucsusa.org/ucs/about/page.cfm?pageID=1009](http://www.ucsusa.org/ucs/about/page.cfm?pageID=1009).

Это предупреждение поддержано даже в отчете, составленном в 2001 г. для Всемирного банка:

«...отмечена пугающая скорость деградации окружающей среды, причем в некоторых случаях она даже увеличивается... В развивающемся мире экологические проблемы приводят к тяжелым гуманитарным, экономическим и социальным последствиям и угрожают самим основам, от которых зависит рост и, в конце концов, выживание»<sup>\*</sup>.

Был ли прав У Тан? Действительно ли существующие в мире проблемы уже полностью вышли из-под контроля? Или его заявление было опрометчивым? Может быть, правильным было заявление Международной комиссии ООН по окружающей среде и развитию, сделанное в 1987 г.?

«Человечество способно сделать развитие устойчивым, чтобы нужды сегодняшнего поколения удовлетворялись, но не за счет способности будущих поколений удовлетворять их собственные потребности»<sup>\*\*</sup>.

На эти вопросы никто не ответит вам однозначно и точно. Важно, чтобы каждый дал собственные ответы на них, обдуманно и хорошо обоснованные. Они нужны для того, чтобы любой человек мог правильно интерпретировать происходящие события, каждый день принимать решения и воплощать их в жизнь.

Мы приглашаем вас присоединиться к обсуждению статистических данных, исследований и выводов, приведенных в этой книге, — они накоплены за прошедшие 30 лет. Тогда у вас будет вся необходимая информация, чтобы делать собственные выводы о будущем мира и самим принимать решения о том, как строить свою жизнь.

<sup>\*</sup> См.: Making Sustainable Commitments: An Environmental Strategy for the World Bank (discussion draft). Washington, DC: World Bank, April 17, 2001. С. xii.

<sup>\*\*</sup> См.: World Commission on Environment and Development. *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press, 1987. С. 8.

## Движущая сила — экспоненциальный рост

---

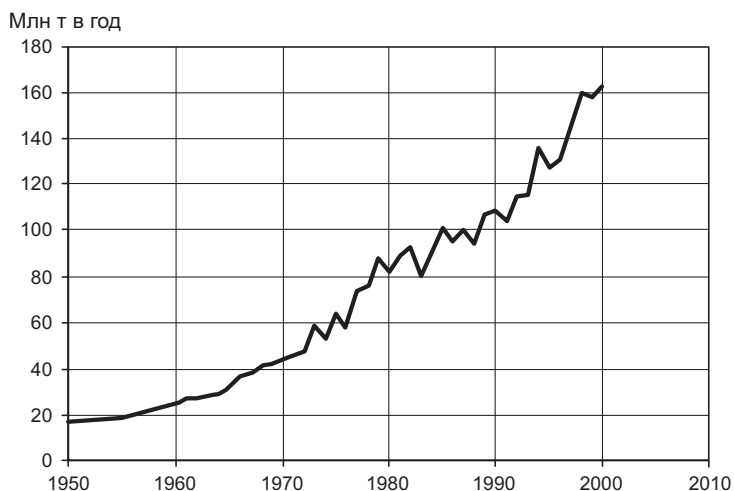
К своему ужасу, я обнаружил, что по наивности не понимал смысла экспоненциальной функции... Даже зная о том, что взаимосвязанные явления — уменьшение биоразнообразия, уничтожение тропических лесов, отмирание верхушек деревьев в Северном полушарии и изменение климата — развиваются по экспоненте, я только в этом году, кажется, полностью осознал, как быстро приближается угроза, которую они несут.

*Томас Э. Лавджой, 1988 г.*

Первая причина выхода за пределы — это рост, ускорение, быстрое изменение. Больше ста лет многие физические показатели мировой системы быстро увеличивались. Численность населения, производство продовольствия, промышленное производство, потребление ресурсов, загрязнение окружающей среды — все эти показатели растут, и часто все быстрее и быстрее. Такое увеличение описывается функцией, которую математики называют показательной, или экспоненциальной.

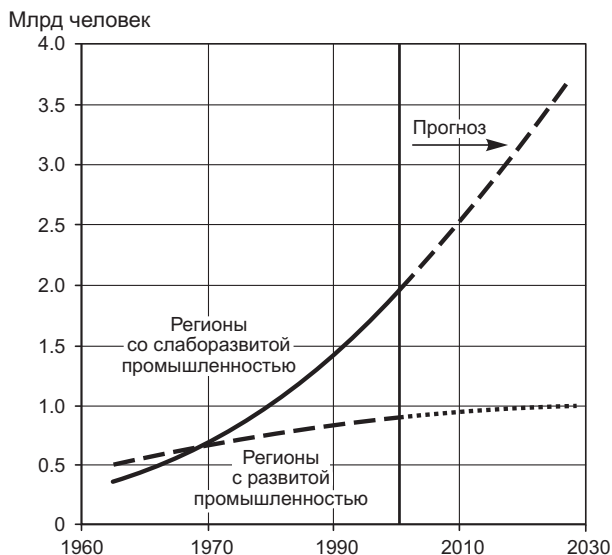
Экспоненциальная зависимость широко распространена. На рис. 2.1 и 2.2 показаны два совершенно разных примера: годовое производство сои (в миллионах тонн) и численность городского населения в слаборазвитых регионах мира. Изменения погоды, экономические колебания, технические усовершенствования, эпидемии или социальные потрясения могут приводить к появлению на графиках зубцов, небольших подъемов или понижений, но в целом экспоненциальный рост определяет общее поведение социально-экономической системы человечества со времен промышленной революции.

Этот вид роста имеет удивительные характеристики, из-за которых им чрезвычайно трудно управлять. Поэтому перед тем, как проанализировать долговременные перспективы развития мира, мы



**Рис. 2.1.** Мировое производство сои

Мировое производство сои растет с 1950 г., время удвоения составляет 16 лет.  
(Источники: Worldwatch Institute; FAO.)



**Рис. 2.2.** Городское население в мире

За прошедшие 50 лет городское население экспоненциально увеличивалось в странах со слаборазвитой промышленностью и практически линейно росло в промышленно развитых странах. Среднее время удвоения городского населения в странах со слаборазвитой промышленностью составляет 19 лет. Предполагается, что этот показатель сохранится в ближайшие несколько десятилетий. (Источник: UN.)



дадим определение экспоненциального роста, опишем его причины и обсудим факторы, определяющие его развитие во времени. Физический рост на ограниченной планете не может продолжаться бесконечно. Вопрос в том, когда он закончится и какие силы заставят его остановиться? При каких условиях человечество и глобальная экосистема переживут его прекращение? Чтобы ответить на эти вопросы, необходимо понять структуру системы, которая заставляет численность населения и величину капитала постоянно стремиться к росту. Эта структура лежит в основе модели *World3*, и, как мы считаем, именно она определяет поведение мирового общества.

## Математические основы экспоненциального роста

Возьмите салфетку или бумажное полотенце и сложите его пополам. Вы удвоили его толщину. Сложите его пополам еще раз. Первоначальная толщина увеличилась в 4 раза. Снова и снова сложите его вдвое, и оно станет в 16 раз толще, чем было сначала — величина составит около сантиметра.

Если сложить его вдвое еще 29 раз, т. е. всего 33 раза, какова будет его толщина? Полметра? Метр? От 1 до 10 метров? От 10 метров до километра?

Конечно, вы физически не сможете сложить вдвое салфетку или бумажное полотенце 33 раза. Но если бы смогли, то итоговая толщина превысила бы 5000 км — это больше, чем расстояние от Москвы до Байкала\*.

Это и есть экспоненциальный рост: удвоение, повторное удвоение и снова удвоение, и т. д. Он удивителен тем, что способен приводить к огромным значениям за короткое время. Экспоненциально растущие параметры озадачивают нас, поскольку большинство людей воспринимают рост как линейный процесс. Величина растет линейно, если за постоянный период она становится больше на постоянную величину. Если бригада дорожных строителей каждую неделю укладывает 1 км шоссе, то его длина растет линейно. Если ребенок ежегодно кладет в копилку 7 долларов, то его сбережения увеличиваются линейно. Количество асфальта, укладываемого каждую неделю, не зависит от того, сколько уже было уложено к этому времени, и добавленная ребенком сумма тоже не зависит от того, сколько денег уже находилось к тому времени в копилке. Когда параметр увеличивается линейно, *приращение за постоянный период всегда*

\*

Это упражнение описано в книге: Booth Sweeney L., Meadows D. The Systems Thinking Playbook. V. 3. Durham, NH: University of New Hampshire, 2001. С. 36–48. Книга издана на русском языке: Бут Свини Л., Медоуз Д. Сборник игр для развития системного мышления. М.: Просвещение, 2007. 288 с.

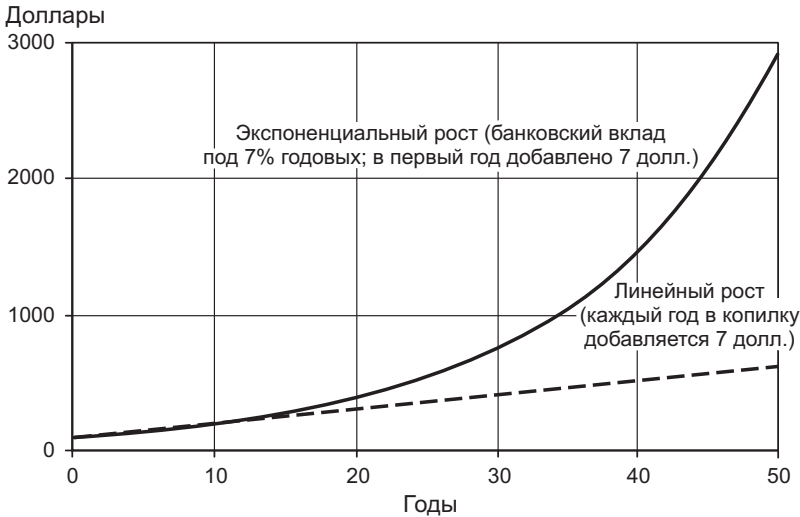
*одинаково* — оно не зависит от того, каким было само значение самого параметра в этот момент.

Величина растет *экспоненциально*, если *приращение пропорционально самой величине*. Колония дрожжей, в которой каждая клетка делится на две каждые 10 минут, растет экспоненциально. Из каждой клетки через 10 минут получится уже по 2 клетки. Еще через 10 минут их будет уже 4, еще через 10 минут — 8, затем 16 и т. д. Чем их больше, тем больше новых клеток образуется в единицу времени. Капиталы компании, которая успешно увеличивает валовую выручку на определенный процент в год, через несколько лет экспоненциально вырастут. *Когда параметр растет экспоненциально, приращение тоже увеличивается с течением времени* — оно зависит от того, каково значение самого параметра в этот момент.

Ключевое отличие экспоненциального роста от линейного можно проиллюстрировать на примере. Допустим, у вас есть 100 долларов. Вы можете положить деньги в банк и получать проценты (вклад с капитализацией процентов) или положить их в копилку и каждый год добавлять определенную сумму. Если вы внесли на счет 100 долларов под 7% годовых с капитализацией (т. е. добавлением процентов к сумме счета), то вклад будет расти экспоненциально. Каждый год сумма будет увеличиваться все больше. Процент фиксирован — он по-прежнему составляет 7% в год, но в абсолютном выражении, в долларах, приращение будет ежегодно увеличиваться. В первый год оно составит 7 долларов. Во второй год 7% будут рассчитываться уже от 107 долларов, приращение составит 7,49 доллара, и сумма вклада увеличится до 114,49. Годом позже приращение будет уже 8,01 доллара, а сумма вклада увеличится до 122,50. К концу десятого года на счете будет 196,72 доллара.

Если же вы положите 100 долларов в копилку и каждый год будете добавлять к ее содержимому по 7 долларов, то сумма будет расти линейно. В конце первого года в копилке будет 107 долларов, точно так же, как и на счете в банке. Но в конце десятого года накопленная сумма окажется существенно меньше, чем в банке, — всего 170 долларов. Хотя разница и не настолько велика, чтобы огорчаться.

Поначалу оба вида роста ведут себя похожим образом, но в один прекрасный момент взрывной характер экспоненциального роста себя проявит (рис. 2.3). Через 20 лет в копилке будет 240 долларов, тогда как на банковском счете окажется уже почти 400 долларов. К концу 30-го года линейный рост в копилке даст всего 310 долларов, а банковский вклад под 7% годовых будет располагать суммой в 761 доллар. За эти 30 лет экспоненциальный рост под 7% годовых обеспечил разницу в сравнении с линейным ростом более чем вдвое, хотя стартовая сумма была одинаковая. В конце 50-го



**Рис. 2.3.** Сравнение линейного и экспоненциального роста накоплений

Если положить 100 долларов в копилку и каждый год добавлять по 7 долларов, накопления растут линейно, как показано пунктирной линией. Если положить 100 долларов в банк под 7% годовых, сумма будет увеличиваться экспоненциально, время удвоения составит примерно 10 лет.

года сумма в банке окажется в 6,5 раз больше, чем в копилке — разница составит почти 2500 долларов!

Удивительные результаты экспоненциального роста на протяжении столетий приводили людей в восхищение. Существует старая персидская легенда об одном мудром придворном, который подарил своему повелителю прекрасно отделанную шахматную доску, а взамен попросил дать ему 1 зернышко риса за первую клетку, 2 зернышка за вторую, 4 за третью и т. д.

Повелитель согласился и приказал нести рис из кладовых. Для четвертой клетки шахматной доски потребовалось 8 зерен, для десятой — 512, для пятнадцатой — 16 384, а для двадцать первой — уже больше миллиона. К сорок первой клетке количество зерен превысило триллион ( $10^{12}$ ). Чтобы расплатиться за 64 клетки доски, не хватило бы всех запасов риса в мире!

Детская французская загадка иллюстрирует другую характерную черту экспоненциального роста — внезапность, с которой экспоненциально растущая величина достигает определенного предела. Предположим, у вас есть пруд, в котором растет одна кувшинка. Каждый день количество кувшинок удваивается. Если позволить им расти бесконтрольно, за 30 дней они покроют всю поверхность пруда, уничтожив в нем другие формы жизни. Но поначалу кажет-

ся, что кувшинок не так уж и много, так что они не вызывают у вас беспокойства, по крайней мере, пока не заполонят половину пруда. На какой день это произойдет и сколько времени у вас будет, чтобы спасти пруд?

На спасение пруда вам останется лишь один день, потому что кувшинки покроют половину зеркала воды на 29-е сутки. На следующий день, после финального удвоения, пруд будет захвачен ими полностью. Это только поначалу кажется разумным отложить принятие мер до того момента, когда пруд будет закрыт кувшинками наполовину. На 21-й день растения покрывают примерно 0,2% поверхности. На 25-й день закроется 3% зеркала. И все равно при таком подходе на спасение пруда у вас будет всего один день\*.

Из этого примера видно, каким образом экспоненциальный рост в сочетании с запаздыванием реакции может привести к выходу за пределы. Долгое время рост кажется незначительным — никто и не подумает, что это может вызвать какие-то проблемы. Но затем он убыстряется, пока за последние одно-два удвоения время для принятия мер не истечет. В пруду с кувшинками за последний день не происходит никаких принципиальных изменений в последовательности событий, процент роста был постоянным весь месяц, от начала и до конца. Просто получается, что в определенный момент экспоненциальный рост набирает такую силу, что справиться с ним уже невозможно.

Особенности экспоненциального роста, его переход от незначительных величин к выходу за пределы можно испытать на себе. Представьте, что вам надо съесть один орешек в первый день месяца, два — во второй день, четыре — в третий и т. д. Сначала вы покупаете и едите орехи понемногу. Но задолго до конца месяца у вас уже будут большие проблемы с желудком и состоянием банковского счета. Сколько вы сумеете продержаться, соблюдая экспоненциальную зависимость? На десятый день вам надо будет съесть примерно полкило орехов. А на 30-й день месяца, чтобы соблюсти принцип удвоения, вам придется купить и съесть больше 500 тонн!

История с орехами не приведет к тяжелым последствиям по той простой причине, что в один прекрасный день вы окинете взглядом гору орехов, которую вам явно не съесть, и прекратите эксперимент. В этом примере нет существенных задержек между действием и его последствиями.

Величина, растущая в соответствии с экспоненциальной зависимостью, удваивается за фиксированный период. Для колонии дрож-

\*

Благодарим за приведенный пример Роберта Лэттеса.

жей время удвоения составляло 10 минут. Банковский вклад под 7% годовых удваивался примерно за 10 лет. Для кувшинок в пруду и эксперимента с орехами время удвоения — ровно один день. Существует простая зависимость между процентом прироста и временем удвоения. Время удвоения приблизительно равно числу 72, деленному на процент прироста\*. Расчеты показаны в табл. 2.1.

Таблица 2.1

### Время удвоения

| Скорость роста, % в год | Приблизительное время удвоения, лет |
|-------------------------|-------------------------------------|
| 0,1                     | 720                                 |
| 0,5                     | 144                                 |
| 1,0                     | 72                                  |
| 2,0                     | 36                                  |
| 3,0                     | 24                                  |
| 4,0                     | 18                                  |
| 5,0                     | 14                                  |
| 6,0                     | 12                                  |
| 7,0                     | 10                                  |
| 10,0                    | 7                                   |

Проиллюстрировать, к чему приводит постоянное удвоение, можно на примере Нигерии. В 1950 г. численность населения в этой стране приближалась к 36 млн человек. В 2000 г. она составила уже 125 млн человек. За вторую половину XX в. население Нигерии выросло практически в 4 раза. В 2000 г. ежегодный прирост составлял примерно 2,5%\*\*. Время удвоения, рассчитанное как частное 72 и 2,5%, составляет примерно 29 лет. Если такие темпы роста сохранятся, население Нигерии будет увеличиваться в соответствии с табл. 2.2.

\*

Этот приближенный расчет дает близкие к истине значения времени удвоения только в том случае, если сложные проценты рассчитываются часто. Например, увеличение на 100% в сутки может дать время удвоения примерно 0,72 дня (т. е. 17 часов), если прирост составляет 4,17% в час. Но если сложные проценты рассчитываются лишь один раз в день, как в приведенном ранее примере с орехами, тогда время удвоения составит одни сутки.

\*\*

См.: World Bank. *The Little Data Book 2001*. Washington, DC: World Bank, 2001. С. 164.

Таблица 2.2

**Рост численности населения Нигерии, экстраполяция**

| Год  | Численность населения,<br>млн человек |
|------|---------------------------------------|
| 2000 | 125                                   |
| 2029 | 250                                   |
| 2058 | 500                                   |
| 2087 | 1000                                  |

Ребенок, родившийся в Нигерии в 2000 г., стал членом общества, в котором в 4 раза больше людей, чем было в 1950 г. Если рост сохранит те же темпы после 2000 г., а ребенку удастся дожить до 87 лет, то он станет свидетелем увеличения численности еще в 8 раз. Тогда в конце XXI в. на каждого нигерийца, жившего в 2000 г., будет приходиться по 8 человек, а на каждого жившего в 1950 г. — по 28. Население Нигерии превысит миллиард человек!

Нигерия — лишь одна из многих стран, страдающих от голода и деградации окружающей среды. Разумеется, страна не выдержит увеличения населения еще в 8 раз. Расчеты, которые мы привели в табл. 2.2, призваны показать характер удвоения и продемонстрировать, что *экспоненциальный рост в ограниченном пространстве с ограниченными ресурсами ни при каких условиях не может продолжаться вечно*.

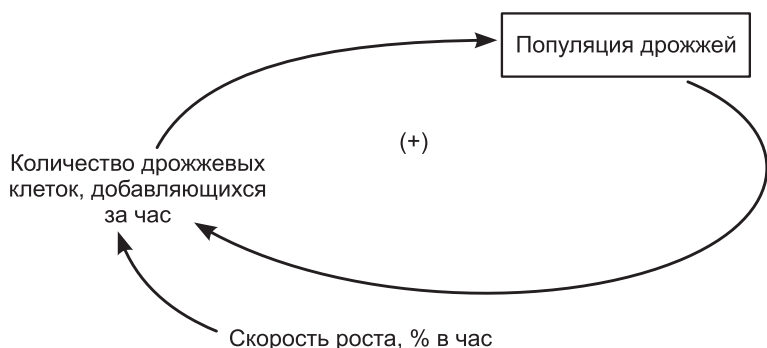
Тогда почему современный мир основан на таком росте? И как его можно остановить?

**Примеры экспоненциального роста**

Экспоненциальный рост может происходить в двух случаях: если растущий объект воспроизводит сам себя и если его рост обусловлен чем-то, что воспроизводит само себя.

Все живые организмы, от бактерий до человека, попадают в первую категорию, т. е. новые существа воспроизводятся подобными существами. Структуру системы самовоспроизводства популяции можно отобразить так, как показано на схеме 2.

Эту схему мы построили в соответствии с правилами системной динамики, нашей научной области, и она позволяет получить довольно точные результаты. Прямоугольник с обозначением «популяция дрожжей» отображает так называемый уровень (уровневую



**Схема 2.** Цикл (петля) обратной связи при росте популяции дрожжей

переменную) — накапливаемый параметр, результат увеличения или уменьшения популяции дрожжей. Стрелками показаны причинные связи или влияния, которые могут принимать самые разные формы. На нашей схеме верхняя стрелка отображает физический поток, приток новых дрожжевых клеток, увеличивающий уровень — дрожжевую популяцию. Стрелка, направленная вниз, иллюстрирует информационное влияние и показывает, что на приток новых клеток влияет само значение уровня — количество уже существующих клеток. Чем больше значение уровневой переменной, тем больше образуется новых клеток, если скорость роста не меняется. (В реальной жизни, конечно же, есть факторы, которые влияют на скорость роста. Но ради упрощения на этой схеме они опущены. К этому вопросу мы еще вернемся.)

Знак «плюс» (+) в центре кольца означает, что стрелки в совокупности образуют *положительный или усиливающий цикл (петлю) обратной связи*. Положительная обратная связь — это замкнутая последовательность причинно-следственных связей, в которой изменение любого элемента приводит к цепочке последствий, которые, в свою очередь, приводят к еще большему изменению исходного элемента в том же самом направлении. Увеличение ведет к еще большему увеличению, уменьшение — к дальнейшему уменьшению.

В системной динамике название «положительная обратная связь» вовсе не обязательно говорит о том, что она дает положительные, благоприятные для нас результаты. Название лишь означает, что исходное воздействие будет *усилено* системой. Аналогичным образом «отрицательные обратные связи», про которые мы тоже вскоре расскажем, не обязательно дают негативные результаты. На самом деле часто они оказывают стабилизирующее влияние. Их «отрицательность» выражается лишь в том, что они *противодействуют* исходному влиянию и стараются его *компенсировать*.



Положительная обратная связь может работать во благо, а может и во вред — в зависимости от того, желателен или нет генерируемый ею рост. Положительная обратная связь вызывает рост дрожжей при выпечке хлеба и рост суммы на банковском счете. В этом случае она желательна. Однако положительная обратная связь может также приводить к вспышке численности насекомых-вредителей, уничтожающих посевы, или к размножению вируса гриппа в вашем горле. Это примеры нежелательных последствий.

Каким бы ни был уровневый параметр, если он вовлечен в цикл положительной обратной связи, значит, *потенциально* он подвержен экспоненциальному росту. Это не означает, что он *обязательно будет* расти экспоненциально. Но у него есть *склонность* к такому росту, и при отсутствии препятствий она может проявиться. Росту может противодействовать множество различных факторов, от нехватки питательных веществ (в случае с дрожжевой культурой), низкой температуры и присутствия других живых организмов (в случае насекомых-вредителей), до наличия или отсутствия инициативы, целей, желаний, потрясений и катаклизмов, болезней и эпидемий (здесь уже речь идет о человеке). Темпы роста могут со временем меняться, они могут быть разными в различных частях света. Но все эти примеры роста — популяции дрожжей, вредителей, численности населения — при отсутствии препятствий происходят по экспоненте.

По экспоненциальному закону может увеличиваться и *промышленный капитал*. Машины и заводы выпускают другие машины и создают новые заводы. Metallургический комбинат производит металл для постройки новых metallургических комбинатов. На заводе по производству крепежных изделий изготавливают гайки и болты, которые будут использованы в станках, производящих крепежные изделия. Любая коммерческая деятельность направлена на получение прибыли, которая инвестируется в расширение коммерческой деятельности и увеличение прибыли. И физический, и финансовый капитал производят еще больший капитал — такова современная промышленная экономика, ориентированная на рост и самовоспроизводство.

Не случайно в промышленном мире принято выражать рост экономики в процентах — например, его годовое значение может составлять 3%. Ожидание такого прироста основано на многовековом опыте наращивания капитала за счет его самовоспроизводства. Сохранять прибыль и инвестировать ее в будущее стало привычным делом: определенная доля доходов вкладывается в расширение бизнеса, чтобы в последующие годы прибыль стала еще больше. Экономика растет экспоненциально до тех пор, пока самовоспроизводство капитала не будет ограничено изменившимся спросом, нехваткой рабочей силы, недостатком сырья, энергии, низкими уровнями инвести-



ций или какими-либо другими факторами в сложной промышленной системе, которые могут препятствовать росту. Как и численность населения, капитал участвует в системной *структуре* с положительной обратной связью, которая демонстрирует экспоненциальный рост. Экономика растет не всегда и не везде, то же касается и численности населения, но их внутренней структуре рост присущ изначально. Поэтому всякий раз, когда есть такая возможность, они демонстрируют экспоненциальный рост.

В жизни существует еще масса других факторов, в которых заложена тенденция к росту по экспоненциальному закону. Насилие может распространяться по экспоненте. Коррупция подпитывает сама себя. В изменении климата тоже присутствует несколько положительных обратных связей. Например, выбросы парниковых газов в атмосферу приводят к повышению средней мировой температуры, что ускоряет таяние в областях вечной мерзлоты. Тундра при оттаивании высвобождает связанный метан — сильный парниковый газ, и это может привести к дальнейшему росту глобальной температуры. Некоторые положительные обратные связи заложены в модель *World3* в явном виде. Таким путем были смоделированы факторы, определяющие плодородие почв. Кроме того, многие технологии развиваются по экспоненте — это описано в главе 7. Тем не менее определяющими мы считаем процессы роста численности населения и промышленного капитала. Именно они ответственны за выход мирового сообщества за пределы, поэтому на них мы и сосредоточимся.

Численность населения и промышленный капитал в современном обществе играют роль генераторов экспоненциального роста. Другие факторы — например, производство продовольствия, использование ресурсов, выбросы загрязнений — имеют склонность к экспоненциальному росту не потому, что воспроизводят сами себя, а потому, что их к этому *вынуждает* рост численности населения и капитала. Они не имеют собственных циклов положительной обратной связи и не могут самовоспроизводиться: пестициды, попавшие в грунтовые воды, не создают другие пестициды, а залегающий под землей каменный уголь не порождает новые залежи каменного угля. С физической и биологической точек зрения выращивание на одном гектаре 6 т пшеницы вовсе не ведет к выращиванию на том же гектаре 12 т пшеницы, если только в процесс не будут вовлечены новые технологии и знания. На самом деле удвоение производства продовольствия или добычи полезных ископаемых не только не становится легче от раза к разу, а наоборот, с течением времени добить его все труднее.

Таким образом, производство продовольствия и использование сырья и энергии растет экспоненциально вовсе не из-за их внутрен-

ней структуры, а лишь потому, что рост численности населения и экономики требует все больше продовольствия, сырья и энергии, и до сих пор эти требования удавалось удовлетворять. Аналогичным образом, загрязнения и объемы отходов увеличиваются не из-за того, что в них структурно заложен экспоненциальный рост, а только потому, что в экономику вовлекается все больше сырья и энергии.

Основное положение модели *World3* — заложенная в структуре капитала и численности населения способность к экспоненциальному росту. Это представление появилось не просто так. Оно подкреплено наблюдениями за показателями социально-экономической системы, их изменениями на протяжении истории. Рост численности населения и капитала приводит к увеличению экологического следа человечества, и так будет продолжаться до тех пор, пока не произойдет радикальное изменение в потребительских привычках людей и существенное увеличение эффективности использования ресурсов. Пока изменений нет ни в том ни в другом. Численность населения, производственный капитал, а также поддерживающие их потоки энергии и сырья росли по экспоненте как минимум в течение столетия, хотя нельзя сказать, что этот рост всегда был плавным или что на него не влияли другие циклы обратной связи. Мир представляет собой сложную систему. Но и модель *World3* тоже сложна, и вы сможете в этом убедиться.

## Рост численности населения мира

В 1650 г. численность населения земного шара составляла около полумиллиарда человек при годовых темпах роста около 0,3%, что соответствует времени удвоения около 240 лет.

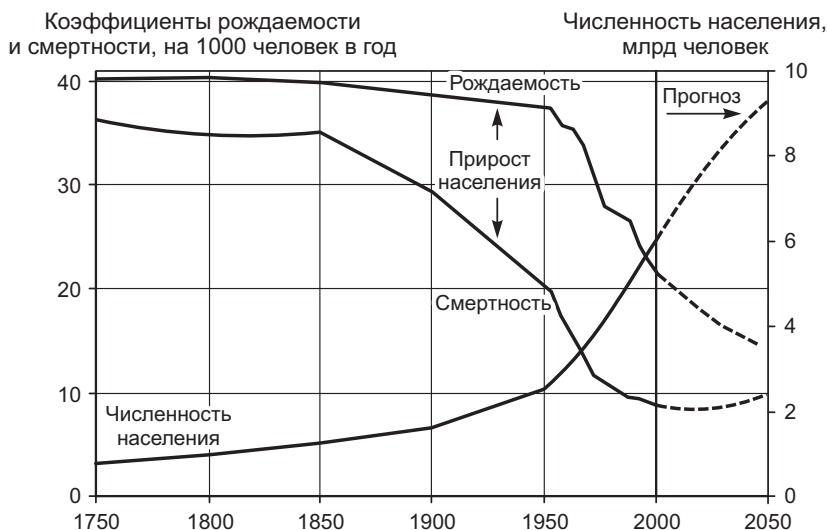
К 1900 г. численность населения достигла 1,6 млрд человек, а годовой прирост увеличился до 0,7–0,8%, что эквивалентно времени удвоения порядка 100 лет.

К 1965 г. на Земле было уже 3,3 млрд человек. Темпы роста увеличились до 2% в год, а это означает, что население удваивается каждые 36 лет. Получается, что с 1650 г. численность населения растет не просто экспоненциально, а *сверхэкспоненциально\**, т. е. увеличивается сама скорость роста. Причина этого была счастливой: существенно снизилась смертность. Рождаемость тоже уменьшалась, но медленнее, поэтому численность населения возрастала.

После 1965 г. смертность продолжала уменьшаться, но рождаемость стала снижаться опережающими темпами (рис. 2.4). В итоге,

\* В отечественной литературе С. П. Капица предложил для «сверхэкспоненциального» роста название «режим с обострением». Эти термины обозначают одно и то же явление — рост со скоростью, которая постоянно увеличивается. — *Прим. пер.*

хотя численность населения за этот период возросла с 3,3 млрд человек до более чем 6 млрд в 2000 г., *скорость роста* при этом снизилась с 2 до 1,2% в год\*.



**Рис. 2.4.** Динамика численности населения мира

Разница между рождаемостью и смертностью определяет скорость, с которой растет численность населения. Примерно до 1965 г. средний коэффициент смертности снижался быстрее, чем коэффициент рождаемости, поэтому скорость роста численности населения увеличивалась. С 1965 г. средний коэффициент рождаемости снижался быстрее, чем коэффициент смертности, поэтому скорость роста численности населения уменьшилась, хотя при этом рост по-прежнему носит экспоненциальный характер. (Источник: UN.)

Уменьшение скорости, с которой растет численность населения, удивляет само по себе и свидетельствует о том, что в культуре происходят глубокие изменения. Теперь люди могут сами выбирать размер семьи, и достижения технологий (в том числе медицинских) облегчают им эту задачу. Среднее по миру количество детей, приходящееся на одну женщину, уменьшилось с 5 (данные 1950-х гг.) до 2,7 (статистика 1990-х гг.). В Европе на рубеже XXI в. на одну семью в среднем приходилось 1,4 ребенка (этот демографический показатель называется коэффициентом фертильности\*\*), но такое количество

\* См. данные: Population Reference Bureau. 1998 World Population Data Sheet.

\*\* Понятия фертильности и рождаемости связаны между собой, однако их следует различать. Фертильность — среднее количество детей, рожденных женщиной за жизнь. Рождаемость характеризует количество рождений за определенный период (как правило, год) на 1000 человек. — Прим. ред.

рождений существенно меньше, чем необходимо для простого воспроизводства населения\*. Население Европы постепенно уменьшается: если в 1998 г. оно составляло 728 млн человек, то к 2025 г. оно предположительно снизится до 715 млн человек\*\*.

Уменьшение коэффициента фертильности вовсе не означает, что рост численности населения прекратился или перестал быть экспоненциальным. Изменилось лишь время удвоения: оно увеличилось с 36 лет при годовом темпе роста 2% до 60 лет при темпе роста 1,2%. Период удвоения может стать еще продолжительнее. Суммарный прирост населения планеты в 2000 г. все равно больше, чем в 1965 г., несмотря на то, что темпы роста снизились. Таблица 2.3 объясняет, почему так происходит: меньший процент в 2000 г. рассчитывается от большей численности населения.

Таблица 2.3

### Прирост численности мирового населения

| Год  | Численность населения, млрд человек | Темп роста, % в год | Прирост населения, млн человек в год |
|------|-------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| 1965 | 3,33                                | 2,03                | 68                                   |
| 1970 | 3,69                                | 1,93                | 71                                   |
| 1975 | 4,07                                | 1,71                | 70                                   |
| 1980 | 4,43                                | 1,70                | 75                                   |
| 1985 | 4,82                                | 1,71                | 82                                   |
| 1990 | 5,25                                | 1,49                | 78                                   |
| 1995 | 5,66                                | 1,35                | 76                                   |
| 2000 | 6,06                                | 1,23                | 75                                   |

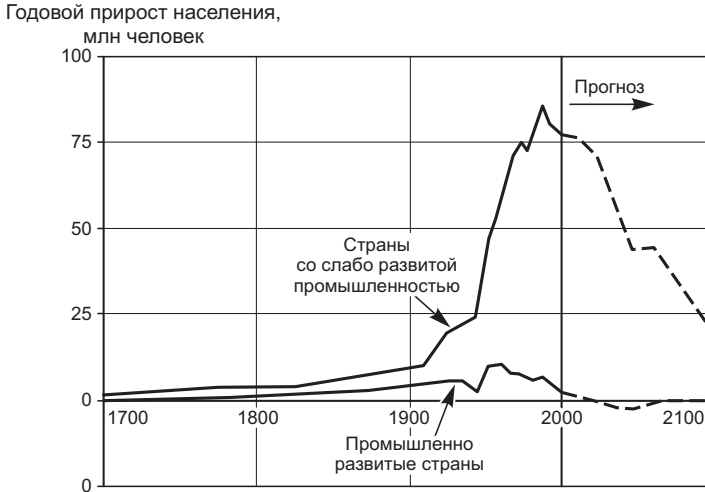
(Источник: UN.)

Годовой прирост населения мира перестал увеличиваться в конце 1980-х гг. Однако увеличение численности на 75 млн человек в 2000 г. эквивалентно появлению девяти новых Нью-Йорков! Если учесть, что рост населения сосредоточен в основном в странах Юга, то правильнее будет сказать, что за год к населению мира добавились еще одни Филиппины, примерно десять Пекинов или шесть Калькутты. Даже по самым оптимистичным прогнозам, предполагающим

\* См.: United Nations Population Division. *1998 Revision: World Population Estimates and Projections*. New York: United Nations Department of Economic and Social Affairs, 1998.

\*\* См.: PRB. *1998 Data Sheet*.

скорое снижение рождаемости, нас все равно ждет дальнейший рост численности, особенно в странах с менее развитой промышленностью (рис. 2.5).

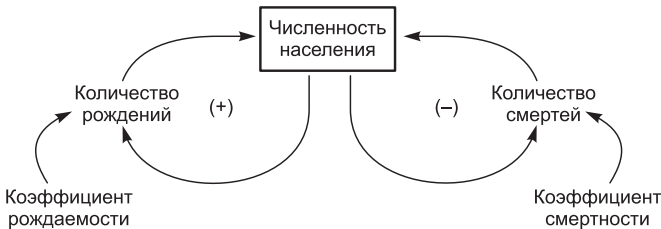


**Рис. 2.5.** Годовой прирост населения мира

До недавнего времени годовой прирост постоянно увеличивался. По прогнозам ООН, вскоре прирост резко уменьшится из-за предполагаемого резкого снижения рождаемости в странах со слабой развитой промышленностью. (Источники: UN; D. Bogue.)

Основная структура, определяющая изменение численности населения, приведена на схеме 3.

В левой части схемы показана *положительная обратная связь*, которая генерирует экспоненциальный рост. Чем больше численность населения, тем больше людей рождается каждый год. Справа на схеме показана *отрицательная обратная связь*. В то время как положительные циклы генерируют неудержимый рост, отрицательные циклы стремятся этот рост обуздать, удержать систему в приемлемых рамках, вернуть ее к устойчивому состоянию, в котором



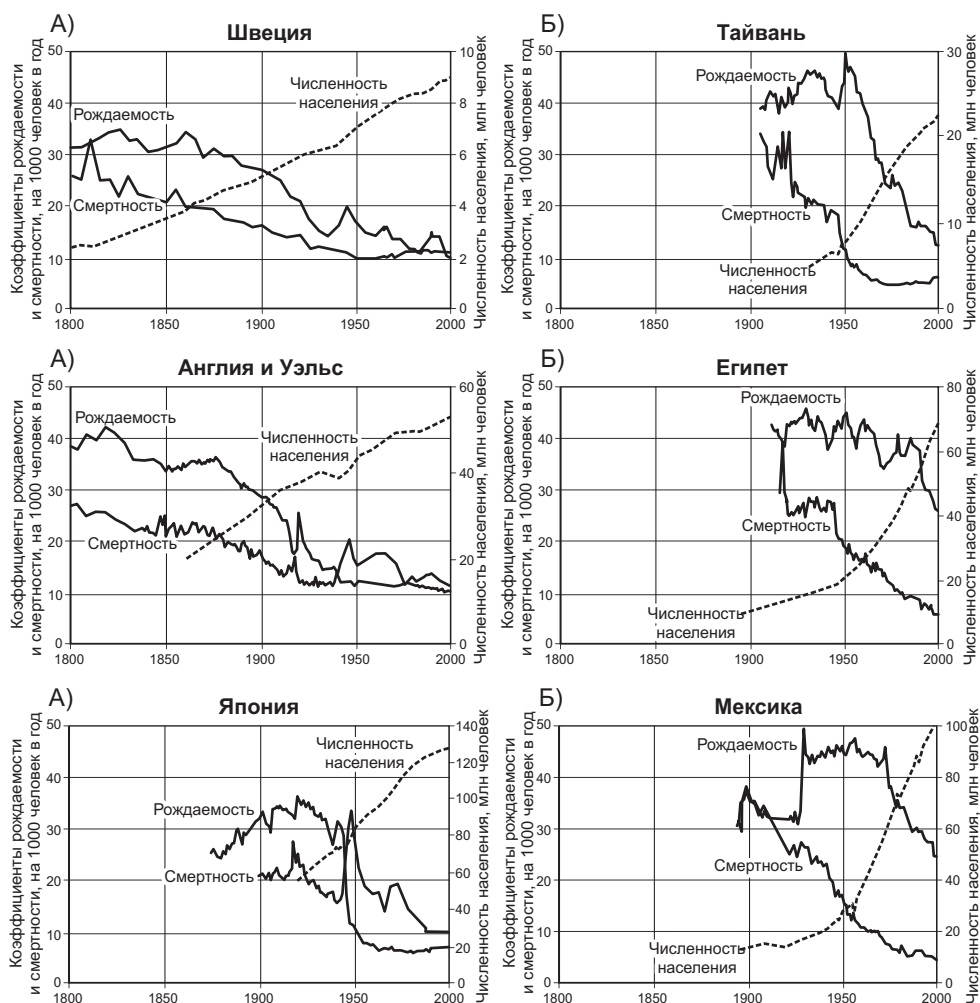
**Схема 3.** Циклы (петли) обратных связей рождаемости и смертности

уровни имеют более или менее постоянные значения. Отрицательная обратная связь порождает такие последствия, которые заставляют изменившийся элемент вернуться к исходному состоянию; в системе генерируются изменения, *противоположные* начальному изменению.

Количество смертей, произошедших за год, равно произведению суммарной численности населения на средний коэффициент смертности. Количество рождений равно произведению суммарной численности населения на средний коэффициент рождаемости. Скорость роста численности равна разности между коэффициентами рождаемости и смертности. Разумеется, эти коэффициенты не постоянны. Они зависят от состояния окружающей среды, от экономических и демографических факторов — уровня доходов, образования, здравоохранения, программ по планированию семьи, религиозных убеждений, уровня загрязнения, возрастной структуры населения и т. п.

В модель *World3* заложена общепризнанная теория, описывающая взаимосвязь между рождаемостью, смертностью и изменением скорости роста численности населения — *демографический переход*. Согласно этой теории в доиндустриальных обществах высоки и коэффициент рождаемости, и коэффициент смертности, поэтому численность населения растет медленно. С улучшением питания и развитием здравоохранения смертность снижается. Коэффициент рождаемости остается высоким еще одно-два поколения, и за счет разницы между рождаемостью и смертностью в этот период происходит быстрый рост численности. Затем, по мере того, как стиль жизни приближается к уровню индустриального общества, начинает уменьшаться коэффициент рождаемости, и тогда скорость роста снижается.

На рис. 2.6 показаны статистические данные по шести разным странам мира. На графиках хорошо видно, что в государствах, где промышленность вышла на высокий уровень развития давно (как, например, в Швеции), коэффициенты смертности и рождаемости уменьшаются очень медленно. Разница между ними никогда не была значительной, и численность населения никогда не росла со скоростью более 2% в год. За весь период демографического перехода в большинстве стран Севера численность населения увеличилась максимум в 5 раз. К 2000 г. очень немногие из промышленно развитых стран имели коэффициент рождаемости выше, чем необходимо для простого воспроизводства, а у большинства даже началось постепенное снижение численности населения. И даже в тех странах, где наблюдался рост, он происходил в основном за счет иммиграции либо сказывались особенности возрастного распределения, когда в репродуктивный возраст вступает молодежи больше, чем за тот же период



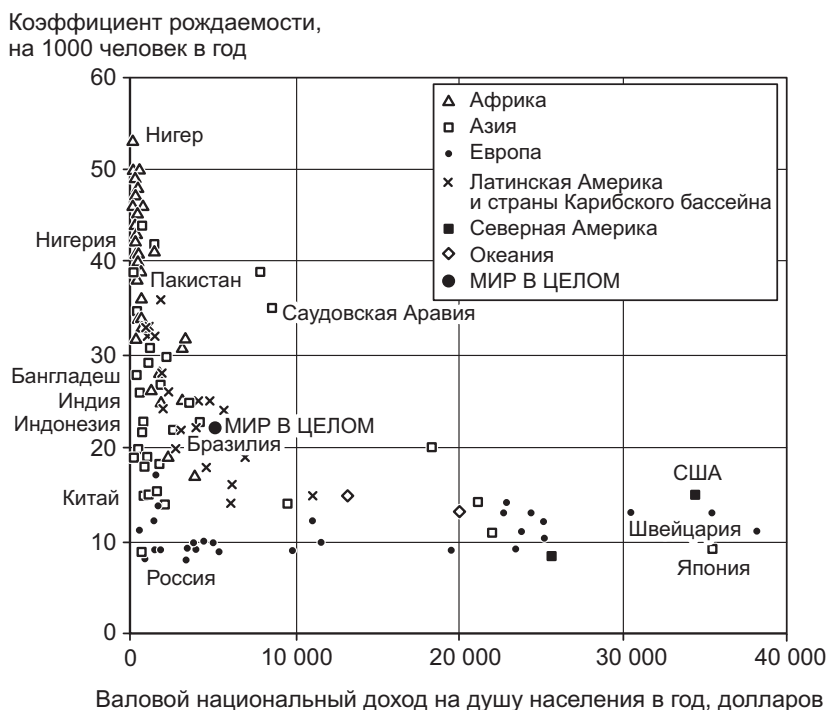
**Рис. 2.6.** Демографический переход в промышленно развитых странах (А) и странах со слабо развитой промышленностью (Б)

При демографическом переходе сначала снижается коэффициент смертности и лишь затем, с некоторым запаздыванием, коэффициент рождаемости. Демографический переход в Швеции занял около 200 лет, при этом разница между коэффициентами рождаемости и смертности никогда не была большой. За все это время численность населения Швеции увеличилась меньше, чем в 5 раз. Япония — пример страны, в которой переход совершился менее чем за 100 лет. В странах со слабо развитой промышленностью во второй половине XX в. разница между коэффициентами рождаемости и смертности была гораздо больше, чем когда-либо наблюдалось в промышленно развитых странах. (Источники: Keyfitz N. and Flieger W.; Chesnais J.; UN; PBR; UK ONS; Republic of China.)

из этого возраста выходят представителей старшего поколения. Возможно также одновременное влияние обоих этих факторов.

В странах Юга, где коэффициент смертности стал снижаться позже и резче, разница между смертностью и рождаемостью была очень велика. В этих регионах мира скорости роста населения оказались гораздо больше, чем когда-либо бывало в странах Севера (за исключением Северной Америки, которая в свое время приняла огромное количество иммигрантов из Европы). Численность населения многих стран Юга выросла в 10 раз и продолжает расти дальше. Их демографический переход еще очень далек от завершения.

Демографы не пришли к единому мнению о причинах зависимостей, связывающих демографический переход с индустриализацией. Движущие факторы гораздо сложнее, чем простое увеличение доходов. На рис. 2.7 показаны данные о зависимости между доходом на



**Рис. 2.7.** Коэффициент рождаемости и валовой национальный доход на душу населения в 2001 г.

С ростом уровня благосостояния в обществе коэффициент рождаемости постепенно снижается. В беднейших странах мира происходит от 20 до 50 рождений на 1000 человек в год. Ни в одной из богатых стран мира коэффициент рождаемости не превышает 20. (Источники: PRB; World Bank.)



душу населения (валовой национальный доход\* на душу в год) и рождаемостью для разных стран мира. В правой части графика явно прослеживается связь между высокими доходами и низкой рождаемостью. Однако в самой левой части графика, в области минимальных доходов, четко видны исключения из этой зависимости. Например, в Китае рождаемость чрезвычайно низка для его уровня доходов. В некоторых странах Ближнего Востока и Африки при относительно высоких уровнях доходов наблюдается чрезвычайно высокий коэффициент рождаемости.

Предполагается, что снижение рождаемости *напрямую* зависит не от уровня материального благосостояния, а, скорее, от его опосредованного влияния на семейный уклад и положение женщин, имеющее большое значение. Такие факторы, как уровень образования и занятости (особенно для женщин), программы планирования семьи, низкая детская смертность, относительно равномерное распределение доходов и равенство возможностей, оказываются более важными, чем валовой национальный доход на душу населения\*\*. В Китае, Шри-Ланке, Коста-Рике, Сингапуре, Таиланде, Малайзии и некоторых других странах с высоким уровнем грамотности, относительно развитым здравоохранением и продуманными программами планирования семьи, доступными практически каждому жителю, коэффициент рождаемости снизился даже при относительно скромном уровне доходов.

В модели *World3* учтено много факторов, влияющих на рождаемость. Мы предполагаем, что более развитая экономика позволяет обеспечить лучшее питание и более качественные услуги здравоохранения, что снижает смертность, а планирование семьи и снижение детской смертности позволяют уменьшить рождаемость. Мы заключили, что в индустриальном обществе желаемый размер семьи становится меньше, поскольку на определенный (довольно продолжительный) период затраты на то, чтобы вырастить ребенка, увеличиваются, а немедленное экономическое преимущество родителей от появления в семье нового члена практически исчезает. Мы отразили в модели предположение, что увеличение краткосрочных доходов позволяет семьям позволить себе большее количество детей,

---

\* Валовой национальный доход (ВНД) равен сумме валового внутреннего продукта (ВВП) и доходов, полученных страной за рубежом. ВВП — денежное выражение производства товаров и услуг в границах государства.

\*\* См., например, работы: *Dasgupta P. S. Population, Poverty and the Local Environment // Scientific American*. February 1995. С. 40; *Robery B., Rutstein S. O. and Morris L. The Fertility Decline in Developing Countries // Scientific American*. December 1993. С. 60; и *Feeney G. Fertility Decline in East Asia // Science*. 266. December 2, 1994. С. 1518.

в то время как замораживание краткосрочных доходов дает обратный эффект\*.

Другими словами, в модели заложена возможность демографического перехода, и обычно он происходит, занимая продолжительное время, причем на развитии событий сказываются также небольшие краткосрочные последствия от увеличения или уменьшения доходов. Сначала склонность численности населения к экспоненциальному росту усиливается, а затем становится умеренной за счет специально принимаемых мер, влияния технологий, предоставления новых возможностей, появления традиций индустриального общества.

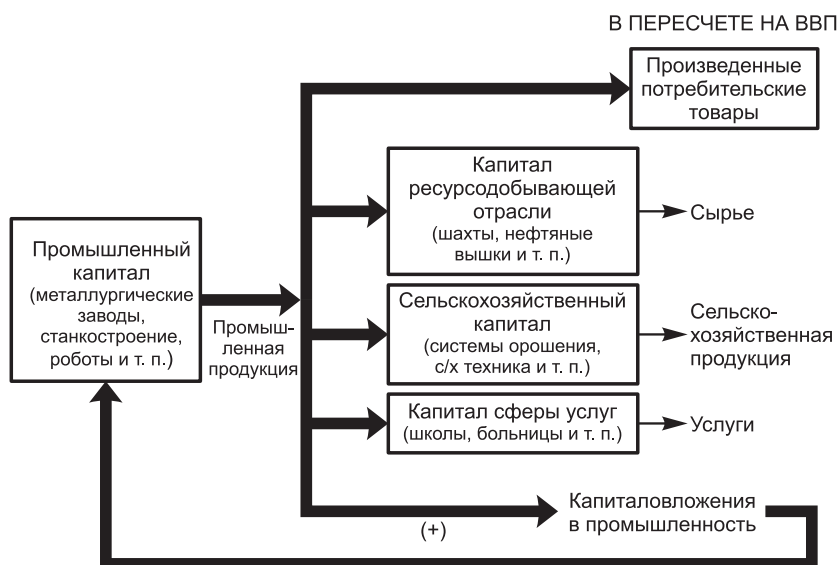
В «реальном мире» на рубеже тысячелетий численность населения продолжает расти экспоненциально, хотя скорость роста несколько уменьшилась. Причины такого снижения объясняются не только величиной дохода на душу населения. Нельзя сказать, что экономический рост автоматически гарантирует улучшение благосостояния, увеличение свободы выбора для женщин или снижение уровня рождаемости. Однако он может помочь в достижении этих целей. За некоторыми примечательными исключениями самые низкие коэффициенты рождаемости в мире встречаются в самых богатых странах. Поэтому вдвойне важно понять причины и следствия экономического роста в мире и в модели *World3*.

## Мировой промышленный рост

При публичном обсуждении любых экономических тем всегда обнаруживается масса противоречий, большинство из которых происходит из-за непонимания принципиальной разницы между деньгами и реальными вещами, для покупки которых нужны деньги\*\*. Это различие нужно четко определить. На рис. 2.8 показано, как мы

\* Более подробная информация содержится в книге: *Meadows D. H. Population Sector; Meadows D. L. et al. Dynamics of Growth in a Finite World*. Cambridge, MA: Wright-Allen Press, 1974.

\*\* Это различие прекрасно иллюстрирует история, которую рассказал нам в начале 1970-х гг. знаменитый геолог и геофизик Мэрион Кинг Хабберт. Во время Второй мировой войны Великобритания, зная, что японцы готовят вторжение на полуостров Малакка — мировой источник каучука, — приложила немалые усилия к тому, чтобы собрать все имеющиеся каучуковые изделия и запасы на одном огромном складе в Индии. Предполагалось, что там они будут храниться в безопасности. Запасы каучука действительно удалось собрать и разместить в едином хранилище. Когда японцы начали вторжение, в Индии уже были накоплены такие количества каучука, что этого хватило бы на все время войны — на производство покрышек, другой необходимой продукции... Однако все эти запасы за одну ночь сгорели при пожаре. «Да ничего страшного, — заявили некоторые британские экономисты, услышав эту печальную новость. — Все ведь было застраховано!».



**Рис. 2.8.** Потоки физического капитала в экономической системе модели *World3*

Производство и распределение промышленной продукции — основа поведения имитационной экономической модели *World3*. Объемы промышленного капитала определяют, сколько промышленной продукции можно произвести каждый год. Эта продукция распределяется по пяти направлениям, в зависимости от задач и потребностей населения. Часть промышленного капитала идет на потребление; другая часть направляется в ресурсодобывающую отрасль, чтобы обеспечить систему необходимым сырьем. Третья часть направляется в сельское хозяйство для обработки земель и повышения урожайности. Четвертая инвестируется в сферу услуг, а остальное — в промышленность, чтобы компенсировать выбывание физического капитала из-за износа (амортизацию) и увеличить совокупную величину промышленного капитала.

описываем материальную экономику в модели *World3*, как поясняем это в нашей книге и как (мы в этом уверены) нужно представлять себе экономику в условиях существующих естественных пределов. Особое внимание мы уделяем *физической экономике* — реальным вещам и факторам, на которые распространяются физические пределы Земли, а не *денежной (монетарной) экономике*, которая на самом деле не более чем социальное изобретение и с физическими законами планеты ничего общего не имеет.

Под *промышленным капиталом* мы понимаем реально существующее оборудование — машины, станки и фабрики, производящие продукцию. (Разумеется, с помощью рабочей силы, энергии, сырья, территорий, воды, технологий, финансов, управления, возможностей природных экосистем и биогеохимических циклов на планете.

К этим факторам, влияющим на производство, мы еще вернемся в следующей главе.) Поток реальной продукции — потребительских товаров и средств производства, созданных с помощью промышленного капитала, — мы называем *промышленной продукцией*.

Некоторая часть промышленной продукции выпускается в виде оборудования; другая часть представляет собой здания для школ, больниц, банков, розничных магазинов... В этом случае мы говорим, что капитал направляется в сферу услуг. *Капитал сферы услуг* производит собственную продукцию. Она нематериальна, но имеет реальную ценность — например, услуги по охране здоровья или получению образования.

Еще одна часть промышленной продукции направляется в *сельское хозяйство* в виде тракторов, элеваторов, систем орошения, комбайнов, которые, в свою очередь, производят аграрную продукцию, в основном продовольствие и растительные волокна (хлопок, лен и т. п.).

Значительная доля промышленной продукции принимает форму нефтяных вышек, скважин, шахтного оборудования, магистральных трубопроводов, насосов, танкеров, нефтеперегонных заводов, плавильных печей... Все это — *ресурсодобывающая отрасль*, она обеспечивает поток сырья и энергии, необходимых для обеспечения работы всех других отраслей и типов капитала.

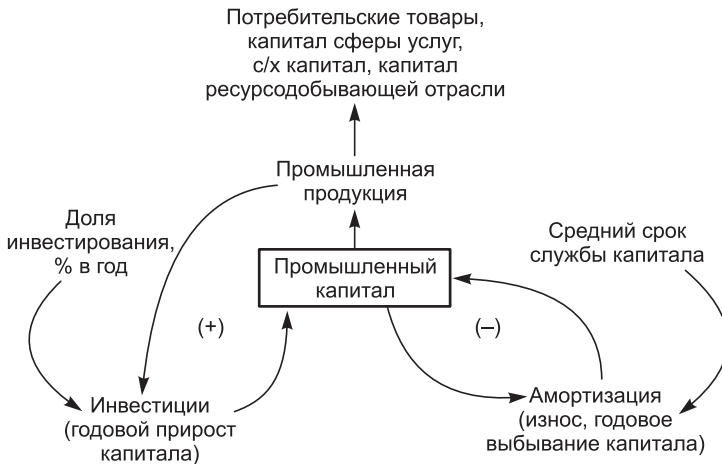
Определенная часть промышленной продукции приобретает вид *потребительских товаров* — тканей, автомобилей, радиоприемников, холодильников, жилых домов и других изделий, предназначенных для населения. Количество потребительских товаров на душу — важный показатель материального благосостояния.

Наконец, часть продукции производится в форме *промышленного капитала*. Можно называть это инвестициями в промышленность: металлургические заводы, электростанции, станки и другое оборудование, которое нужно для того, чтобы амортизировать устаревание и выход из строя старого оборудования, а также увеличить объем промышленного капитала, чтобы в будущем он позволил получить еще больше промышленной продукции.

Все, что мы перечислили, имеет физическое воплощение — это не денежные потоки, а реальные вещи. Роль денег в мире сводится к тому, чтобы передать информацию об относительной стоимости и ценности физических вещей и предметов (для этого производителям и потребителям служит свободный рынок). Деньги выступают в качестве посредников и стимулируют потоки физического капитала и продукции. Годовой объем физической продукции в виде товаров и услуг (в денежном выражении), показанный на рис. 2.8, — не что иное, как ВВП.

ВВП будет появляться на многих рисунках и в таблицах, поскольку мировые экономические показатели обычно используют денежное выражение, а не физическое. Но нас интересует именно физический смысл, кроющийся в понятии ВВП: реальные размеры капитала, промышленные изделия, услуги, ресурсы, сельскохозяйственная продукция и потребительские товары. Именно они, а не деньги, приводят в движение экономику и общество. Именно они, а не деньги, извлекаются нами из окружающей среды и рано или поздно возвращаются туда же — в землю, воду или воздух.

Как уже было сказано, промышленный капитал за счет самовоспроизводства способен расти экспоненциально. Схема обратных связей, обеспечивающая такое самовоспроизводство, похожа на структуру, определяющую численность населения (схема 4).



**Схема 4.** Циклы (петли) обратных связей промышленного капитала

Определенное количество промышленного капитала (заводы, грузовики, компьютеры, электростанции) может создать определенное количество промышленной продукции в год, если доступны необходимые для этого потоки сырья, энергии и т. п. Часть продукции производится в виде инвестиций в сам капитал — это станки, двигатели, конвейерное оборудование, сталь, цемент — все, что увеличивает промышленный капитал и таким путем обеспечивает рост производства продукции в будущем. Можно сказать, что это «рождаемость» капитала. Доля такой реинвестируемой продукции может быть разной, по аналогии с человеческой рождаемостью, которая тоже непостоянна и зависит от принятых решений, поставленных целей и препятствий в их достижении. Для этой положительной обратной связи, как и в структуре населения, характерны запаздывания,

поскольку планирование, финансирование и строительство требуют времени, особенно если речь идет о таких серьезных вложениях, как прокладка железных дорог, строительство электростанций или нефтеперерабатывающих заводов — тогда этот процесс занимает годы или десятилетия.

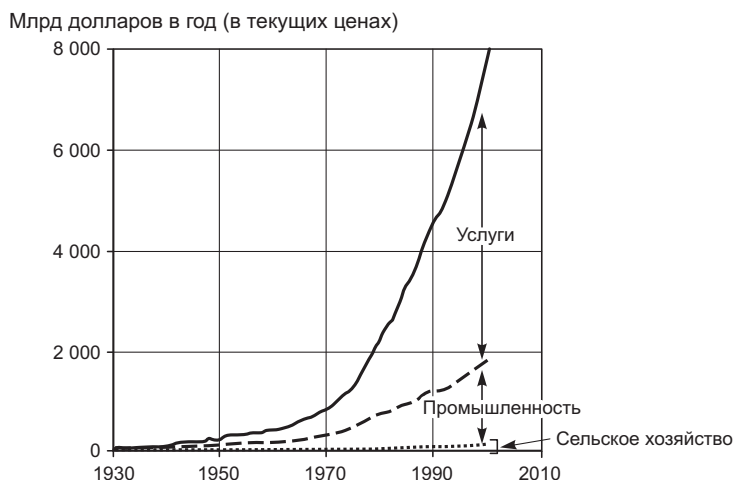
Капитал, как и население, имеет не только цикл рождаемости, но и цикл смертности. Оборудование и заводские агрегаты изнашиваются или морально устаревают, их останавливают, демонтируют, пускают на металлолом, утилизируют. Доля выбывающего капитала аналогична коэффициенту смертности в расчетах численности населения. Чем больше капитал, тем больше ежегодная амортизация, выбывание и списывание капитала, что ведет к уменьшению уровня, доступного на следующий год, если только не будут сделаны достаточные инвестиции, возмещающие выбывший капитал.

Подобно тому как по мере индустриализации в странах произошел демографический переход, так и в уровне промышленного капитала наблюдались заметные изменения. Доиндустриальная экономика основана прежде всего на сельском хозяйстве и сфере услуг. Когда раскручивается цикл роста капитала, поднимаются все сектора экономики, но промышленный сектор некоторое время растет быстрее всех. После того как промышленная база построена, дальнейший рост смещается в сферу услуг (рис. 2.9). Такой переход заложен в структуру *World3* как основная модель экономического роста. Отклонения от нее происходят только в том случае, если приложить к этому специальные усилия\*.

Высокоразвитые экономические системы часто называют «экономикой услуг», но в реальной жизни даже такой экономике необходима подпитка со стороны сельского хозяйства и промышленности. Больницы, школы, банки, магазины, рестораны и отели — все это образует базу для сферы услуг. Понаблюдайте за грузовиками, доставляющими продовольствие, бумагу, топливо и оборудование, или за мусоровозами, вывозящими отходы; попробуйте оценить, сколько воды поставляется через водопроводы и отводится через канализацию, и тогда станет совершенно очевидно, что сфера услуг требует, чтобы ее постоянно поддерживали физические потоки: притоки ресурсов и стоки отходов. Вместе с деятельностью промышленности это создает значительную нагрузку на окружающую среду и увеличивает экологический след человечества.

Металлургические заводы и шахты по добыче ископаемых могут быть расположены далеко от офисов, которые осуществляют инфор-

\* См. книгу: *Behrens III W. W., Meadows D. L. and Milling P. M. Capital Sector // Dynamics of Growth in a Finite World.*



**Рис. 2.9.** Распределение ВВП США по секторам

Исторические данные по распределению доходов от экономической деятельности в США по секторам иллюстрируют переход к экономике услуг. Заслуживает внимания то, что промышленный и сельскохозяйственный сектора в абсолютном выражении продолжают расти, хотя наибольшая доля доходов приходится на сферу услуг. (Источники: U.S. Bureau of Economic Analysis.)

мационное управление. Количество сырья в тоннах не может расти так же быстро, как денежная стоимость продукции. Тем не менее на рис. 2.9 ясно видно, что даже в постиндустриальной экономике промышленность не приходит в упадок. Информация — удивительный ресурс. Он не существует физически, но при этом вполне реален. Однако на чем он основан, что его поддерживает? Настольный компьютер, например — это несколько килограммов пластмасс, металлов, стекла и кремния. Средний компьютер в 1997 г. весил 25 кг и потреблял 150 Вт электроэнергии, а при его изготовлении больше 60 кг материалов отправлялось в отходы\*. Люди, которые работают с информацией — создают, обрабатывают, используют ее — еще и каждый день едят, водят машины, живут в домах, работают в зданиях, оснащенных системами отопления и кондиционирования... А еще, несмотря на все электронные средства коммуникаций, они расходуют много бумаги.

Цикл положительной обратной связи, на котором основана деятельность мирового капитала, работал столь интенсивно, что физический капитал увеличивался быстрее, чем численность населения.

\*

См.: Ryan J. C. and Durning A. T. *Stuff: The Secret Lives of Everyday Things*. Seattle: Northwest Environment Watch, 1997. С. 46.



В период с 1930 по 2000 г. денежное выражение мировой промышленной продукции выросло в 14 раз (см. рис. 1.2). Если бы за тот же период численность населения не возросла, то уровень материального благосостояния тоже увеличился бы в 14 раз. Однако в реальной жизни произошло иначе, поэтому промышленное производство на душу населения увеличилось только в 5 раз. В период с 1975 по 2000 г. промышленная экономика практически удвоила капитал, но производство на душу населения при этом возросло менее чем на 30%.

## **Больше людей — больше нищеты — больше людей**

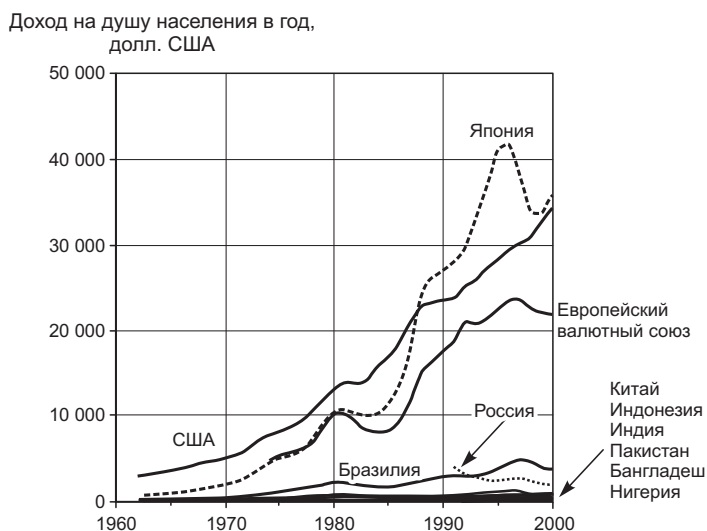
Рост необходим для того, чтобы покончить с нищетой. Это кажется очевидным. Менее очевидно для сторонников роста то, что рост в экономической системе (в ее текущей форме и структуре) вовсе не приводит к исчезновению нищеты. Наоборот, современные типы роста поддерживают нищету и только увеличивают пропасть между богатыми и бедными. В 1998 г. более 45% мирового населения жили на доходы в размере примерно 2 долларов в день, а то и меньше. Сегодня бедных людей больше, чем было в 1990-е гг., и это при том, что за прошедшее десятилетие мировые доходы необычайно возросли\*. Четырнадцатикратный рост мирового промышленного производства с 1930 г. увеличил достаток многих людей, но нищета от этого нигде не исчезла. И нет оснований предполагать, что еще одно увеличение в 14 раз (даже если оно будет возможно с учетом существующих пределов планеты) позволит избавиться от нищеты — разве только мировая система будет реорганизована таким образом, чтобы результаты роста доставались тем, кто больше всего в них нуждается.

В существующей системе экономический рост обычно происходит в государствах, которые и так уже богаты, и его результаты достаются богатейшим людям в этих странах. На рис. 2.10 показаны графики изменения ВНД на душу населения для десяти стран мира, обладающих наибольшей численностью населения, а также для Европейского валютного союза. Из них следует, что десятилетия роста только увеличивали разницу между богатыми и бедными странами.

В Программе ООН по развитию содержатся данные о том, что в 1960 г. 20% мирового населения, проживавшего в самых обеспеченных государствах, располагали доходом на душу населения в 30 раз

\* См.: World Bank. *World Development Indicators* — 2001. Washington, DC: World Bank, 2001. С. 4.





**Рис. 2.10.** ВВП на душу населения в 10 самых населенных странах мира и Европейском валютном союзе

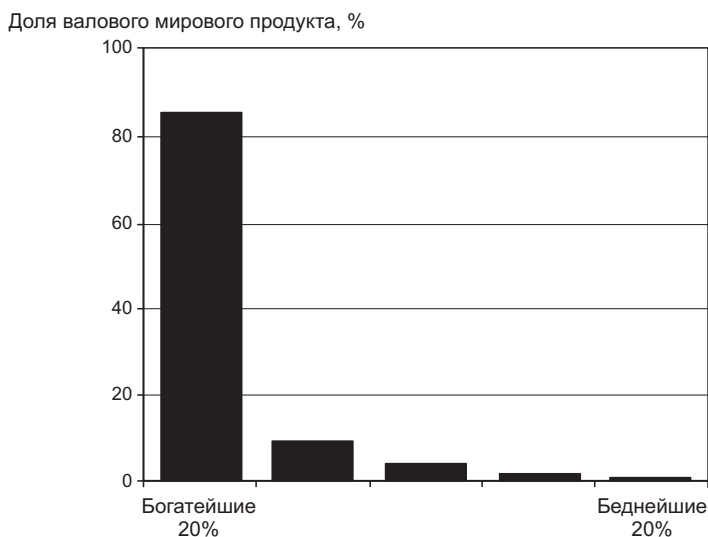
Экономический рост происходит в основном в странах, которые и без того уже богаты. В шести странах Азиатско-африканского региона (Индонезия, Китай, Пакистан, Индия, Бангладеш и Нигерия) суммарно проживает примерно половина населения мира. Однако их ВВП на душу населения, если его изобразить на том же графике, что и доходы богатейших стран, почти сливается с горизонтальной осью. (Источник: World Bank.)

больше, чем другие 20% населения, проживавшего в беднейших странах. К 1995 г. разрыв между 20% богатейшего и 20% беднейшего населения мира вырос от соотношения 30:1 до 82:1. В Бразилии беднейшая половина населения в 1960 г. получала 18% национального дохода, а в 1995 г. — только 12%. А 10% богатейшего населения Бразилии получали 54% национального дохода в 1960 г. и уже 63% в 1995 г.\* Доход среднестатистической африканской семьи в 1997 г. оказался на 20% меньше, чем в 1972 г.\*\* Сто лет экономического роста принесли миру только чудовищное неравенство в распределении доходов между богатыми и бедными. На рис. 2.11 приведены показатели, подтверждающие это: доля ВВП и доля потребляемой энергии, приходящиеся на социальные слои с разными уровнями доходов.

Изучая это явление с позиций системной динамики, мы заметили, что оно часто встречалось на протяжении истории, поэтому при-

\* См.: United Nations Development Program. *Human Development Report 1998*. New York and Oxford: Oxford University Press, 1998. С. 29.

\*\* См. там же, с. 2.



**Рис. 2.11.** Неравенство распределения доходов в мире

Распределение благосостояния и возможностей в мире чудовищно несправедливо. Богатейшие 20% мирового населения контролируют более 80% валового мирового продукта и потребляют почти 60% производимой в мире энергии. (Источник: World Bank.)

шли к выводу, что его причины заложены в самой структуре обратных связей в системе. Ускорение или замедление работы системы принципиально не меняет тип ее поведения — до тех пор, пока не будет пересмотрена структура системы. Рост, как это неоднократно случалось раньше, только увеличивает разрыв между богатыми и бедными.

Сам по себе непрерывный рост никогда не позволит уменьшить этот разрыв. Только изменение структуры системы — циклов причинно-следственных связей — позволит добиться результата.

Какая же структура ответственна за увеличение пропасти между богатыми и бедными, несмотря на огромный подъем мировой экономики? Мы выделили две основные подсистемы. Первая относится к разделению социальных слоев, оно присутствует в том или ином виде в большинстве культур, хотя в некоторых в довольно специфичной форме. Речь идет о *систематическом вознаграждении привилегированных слоев, когда они получают все больше власти и ресурсов для получения еще больших привилегий*. Примеры можно привести самые разные, от явной или неявной дискриминации по этническому признаку до налоговых послаблений богатым слоям; от недоедания, которым страдают дети из бедных слоев общества, до

привилегированных частных школ, куда отдают детей из богатых семей; от прямого подкупа ради достижения политических целей (такое происходит даже в демократических странах) до принципа начисления процентов, при котором средства перетекают от тех, кто имеет денег меньше, чем нужно, к тем, у кого их больше, чем нужно.

В системных терминах про такие структуры обратных связей говорят: деньги делают деньги\*. Это положительные циклы обратных связей, которые вознаграждают успех средствами достижения нового успеха. Они присущи любому обществу, в котором не разработаны стабилизирующие механизмы, уравнивающие правила игры для всех. (Примерами таких стабилизирующих механизмов служат антидискриминационные законы; прогрессивные шкалы налогообложения, при которых ставка налога тем выше, чем больше доход; единые для всех стандарты образования и здравоохранения; социальные программы, поддерживающие тех, кто переживает не лучшие времена; налоги на недвижимость; а также демократические принципы, выводящие политиков из-под власти денег.)

Ни один из циклов «деньги делают деньги» в явном виде в модель *World3* не заложен, ведь это не система для анализа динамики доходов или распределения материальных благ и власти. Модель прежде всего построена на взаимосвязях между мировой экономикой и пределами роста\*\*. Существующая схема распределения в ней принимается как данность.

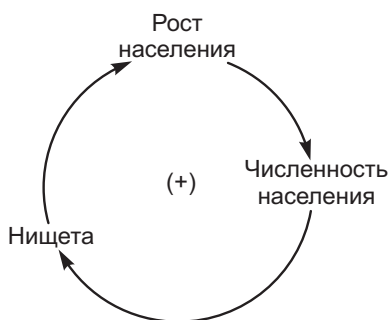
В модели *World3* есть структура, которая отображает связь между численностью населения и капиталом — мы уже говорили об этом в начале главы. Такая структура не дает избавиться от нищеты, поддерживает рост численности населения и склонность мировой системы к выходу за пределы. Именно ее необходимо изменить, если мы хотим достичь устойчивого мира, и об этом будет идти речь в следующих главах.

Структура, поддерживающая нищету, основана на том, что богатым странам проще сохранить, вложить и приумножить их капи-

\* См., например, книгу: *Senge P. The Fifth Discipline*. New York: Doubleday, 1990. С. 385–386. (Издана на русском языке: *Сенге П. Пятая дисциплина*. Искусство и практика обучающейся организации. М.: Олимп-Бизнес, 2009. 448 с.) Кроме того, циклы «успех к успеху» (в том числе «деньги делают деньги») подробно описаны в книге: *Meadows D. H. Thinking in Systems: A Primer*. Chelsea Green Publishing, 2008. Она также опубликована на русском языке: *Медоуз Д. Азбука системного мышления*. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. 344 с.

\*\* В системе *World3* все циклы «богатые становятся еще богаче» моделируются неявным образом в соответствии с существующими в мире тенденциями, если только в них не вносятся намеренные изменения, и тогда это специально подчеркивается в тексте книги.

тал, чем бедным. Богатые не только имеют больше власти (что позволяет диктовать рыночные правила, заказывать разработку новых технологий и управлять ресурсами), но еще и обладают капиталом, накопленным за сотни лет предшествующего роста, и эти средства год от года приумножаются. Основные потребности человека в богатых странах уже удовлетворены, поэтому высокие темпы роста капиталовложений можно обеспечить без необходимости лишать население средств к существованию. Медленный рост численности населения позволяет больше средств направить на экономический рост и меньше — на здравоохранение и образование, чего не могут себе позволить страны с быстро растущей численностью населения (схема 5).



**Схема 5.** Нищета и численность населения

В бедных странах, в отличие от богатых, накопление капитала сильно осложняется ростом численности населения. Такие государства не могут позволить себе направлять на реинвестирование большие средства, поскольку они нужны для постройки школ и больниц, а также для удовлетворения насущных потребностей людей. Из-за таких неотложных трат остается мало средств на инвестиции в промышленное производство, поэтому экономика развивается медленно. Демографический переход застывает на промежуточной фазе, когда велика разница между коэффициентами рождаемости и смертности. Если у женщин нет привлекательной альтернативы рождению детей — нет возможности ни учиться, ни работать — тогда дети становятся одной из немногих доступных форм инвестиций. В результате население растет, но богаче не становится. Как говорится, у богатых прибавляются деньги, а у бедных — дети.

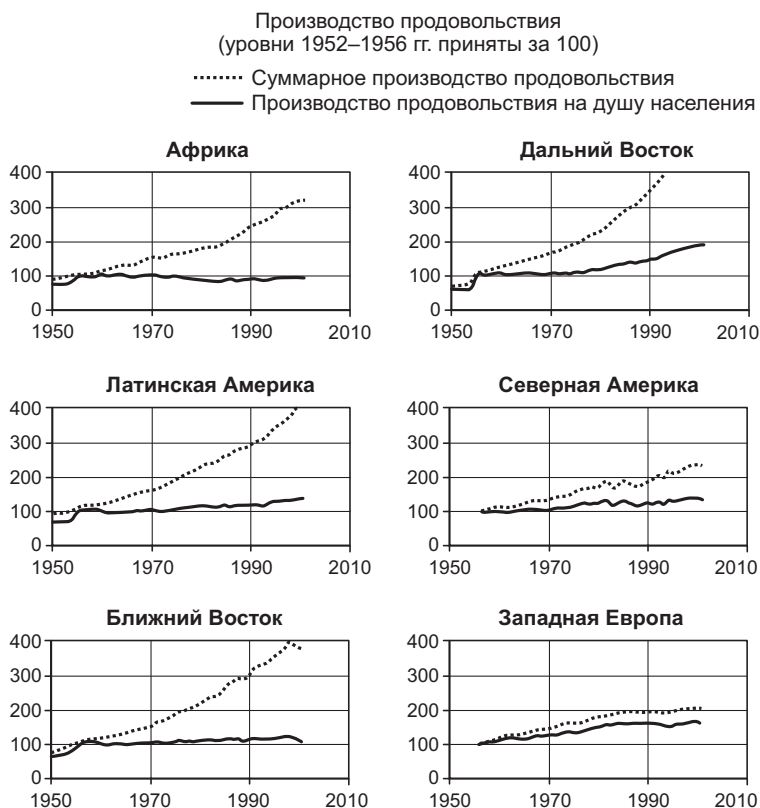
Международные организации и фонды могут охрипнуть, споря о том, какая связь в цикле важнее: нищета, вызывающая рост численности населения, или численность населения, вызывающая рост нищеты.

На самом же деле на поведение людей, проживающих в беднейших регионах, сильно влияют все составные части этого цикла положительной обратной связи. Это своего рода системная ловушка, в которой бедные становятся еще беднее, а численность населения продолжает расти. Увеличение численности приводит к отвлечению средств из цикла инвестирования и перенаправлению их на потребление, в итоге рост капитала замедляется. Нищета, в свою очередь, приводит к тому, что население продолжает увеличиваться, поскольку людям недоступны образование, услуги здравоохранения, программы планирования семьи. У них нет выбора, и им не на кого надеяться, кроме как на своих детей, которые смогут принести семье дополнительный доход или дать дополнительные рабочие руки.

Одно из последствий такой системной ловушки показано на рис. 2.12. Производство продовольствия в любой стране Юга за последние 20 лет значительно возросло. В большинстве стран оно удвоилось или даже утроилось. Однако быстрый рост численности населения свел это достижение на нет — производство продовольствия на душу населения едва изменилось, а в Африке и вовсе постоянно уменьшается. Количество продовольствия на душу населения растет только в Европе и странах Дальнего Востока.

Графики, показанные на рис. 2.12, иллюстрируют двойную трагедию. Первая — человеческая. Большие достижения в сельском хозяйстве и возросшее производство продовольствия пошли не на справедливое распределение среди большего количества людей, а на еще более неравномерное распределение. Вторая трагедия — разрушение окружающей среды. Увеличение производства продовольствия было достигнуто ценой деградации почв, загрязнения воды, сведения лесов и разрушения экосистем, причем все это сильно осложняет рост производства в будущем.

Тем не менее любой цикл положительной обратной связи, который ведет систему к упадку, можно изменить, чтобы он работал на подъем. Растущая нищета ведет к росту численности населения, а он ведет к дальнейшему росту нищеты. Но тогда уменьшение нищеты приведет к замедлению роста численности населения, что, в свою очередь, приведет к дальнейшему уменьшению нищеты. Постоянные инвестиции в достаточном объеме и за достаточный период, при справедливых ценах на продукцию и труд, при направлении полученных дополнительных средств тем, кто в них нуждается больше всего, и особенно при обеспечении женщинам доступности образования, занятости и программ планирования семьи, способны повернуть вспять замкнутую последовательность нищеты и численности населения. А это позволит инвестировать в промышленный капитал



**Рис. 2.12.** Производство продовольствия по странам мира

Суммарное производство продовольствия (за 100 приняты уровни, достигнутые в 1952–1956 гг.) в тех регионах, где голод принимает самые большие масштабы, за прошедшие 50 лет удвоилось или даже утроилось, но количество продуктов питания на душу населения едва изменилось, поскольку численность населения росла практически так же быстро. А в случае Африки в период 1996–2001 гг. производство продовольствия на душу населения даже уменьшилось на 9%. (Источник: FAO.)

больше средств, чем раньше, и получить в результате больше промышленной продукции и услуг. Рост потребления товаров и услуг еще сильнее способствует уменьшению роста численности населения.

В тех частях света, где уделяется пристальное внимание благосостоянию всех жителей, особенно бедных слоев, изменение замкнутого цикла уже происходит, и это единственная причина уменьшения скорости роста населения и продолжения демографического перехода.

В других регионах, где неравенство закреплено в культурном наследии, где не хватает ресурсов или желания инвестировать их в благосостояние всего общества, где просчеты в финансовой сфере привели к тому, что инвестиции отвлекаются от сектора образования и здравоохранения и идут по другим направлениям, заметного улучшения в жизни людей не происходит. Эти страны, прозябающие в нищете, но при этом увеличивающие численность населения еще больше, рискуют тем, что однажды рост будет остановлен не уменьшением рождаемости, а резким увеличением смертности. Уже есть неутешительные прогнозы: Зимбабве, Ботсвана, Намибия, Замбия и Свазиленд в первых десятилетиях XXI в. рискуют получить нулевой рост численности в результате высокой смертности среди молодежи и детей из-за СПИДа\*.

Экспоненциальный рост населения и выпуска промышленной продукции заложен в структуре самовоспроизводства социально-экономической системы всего мира, но в реальной жизни за счет осложняющих факторов это приводит к тому, что в одних частях света медленный рост численности соседствует с быстрым ростом промышленного капитала, а в других — быстрый рост населения с медленным ростом промышленности.

Может ли физический рост продолжаться бесконечно? Наш ответ — нет. Рост численности населения и капитала увеличивает экологический след человечества и то разрушительное воздействие, которое мы оказываем на мировую экосистему. Человек пока не научился избегать этого. Теоретически можно было бы уменьшать экологическую нагрузку, создаваемую всеми видами деятельности, за счет технологических и других способов, и делать это достаточно быстро, чтобы позволить капиталу и численности населения постоянно расти. Но на практике это вряд ли достижимо. Накопленный опыт показывает, что в современном мире такого уменьшения нагрузки не происходит. Наоборот, она продолжает расти (см. рис. П.1), хотя и медленнее, чем сама экономика.

Когда нагрузка превышает пределы устойчивости (а в мировой системе это уже произошло), обязательно должен произойти спад. Либо человечество примет целенаправленные меры (например, будет резко увеличена экологическая эффективность технологических процессов), либо природа позаботится об этом сама (когда леса будут полностью сведены, производство древесины, естественно, прекратит-

\* См.: Brown L. R., Gardner G., and Halweil B. Beyond Malthus: Sixteen Dimensions of the Population Problem // *Worldwatch Paper*. 143. Washington, DC: Worldwatch Institute, September 1998.

ся само собой). Вопрос не в том, остановится ли когда-нибудь рост экологической нагрузки. Вопрос лишь в том, *когда* это произойдет и *в какой форме*.

Население обязательно перестанет расти — либо за счет дальнейшего снижения рождаемости, либо за счет увеличения смертности, либо за счет и того и другого одновременно. Промышленный рост тоже обязательно прекратится — либо за счет уменьшения инвестиций, либо за счет увеличения амортизации, либо за счет обоих факторов. И если мы заранее знаем об этих тенденциях, то можно и нужно принять разумные меры, чтобы взять их под контроль, выбирая для человечества наилучший путь. Если мы этого не сделаем, природа сама выберет финал, и при этом ее не будет заботить уровень благосостояния людей.

Рождаемость и смертность, инвестиции и амортизация придут в равновесное состояние либо в результате нашего сознательного выбора, либо в результате обратной связи от исчерпания ресурсов и переполнения стоков планеты. Подъем кривых экспоненциального роста замедлится, затем прекратится и либо перейдет на плато, либо сменится упадком. Условия жизни людей на планете в этот период могут быть ужасающими.

Очень просто различать только белое и черное и раз и навсегда разделить вещи на хорошие и плохие. Из поколения в поколение рост численности населения и капитала считался безусловным благом. На малонаселенной планете с изобилием ресурсов для такого позитивного отношения были все основания. Но теперь, когда мы знаем об экологических пределах, слишком велико искушение изменить отношение на прямо противоположное и заявить, что все виды роста — зло.

От управленцев и лиц, принимающих решения, в эпоху наступивших пределов требуется более глубокий подход. Некоторые люди отчаянно нуждаются в продовольствии, крыше над головой, предметах первой необходимости. Другие прилагают огромные усилия к тому, чтобы использовать материальный рост для удовлетворения других нужд — личных амбиций, потребности в значимости, признании, самореализации. И нет смысла говорить о росте с однозначным одобрением или столь же однозначным осуждением. Вместо этого надо задаться вопросами: *о каком росте идет речь? Для кого? Какой ценой? За счет чего? Действительно ли в нем есть потребность? Какой путь быстрее и эффективнее всего приведет к удовлетворению этой потребности? Какой уровень будет достаточным? Какие обязательства придется принять на себя для этого?*



Ответы на эти вопросы укажут дорогу к справедливому и обеспеченному обществу. А дополнительные вопросы направят мир к устойчивости и самоподдержанию. *Сколько человек можно обеспечить за счет того или иного потока в рамках данного экологического следа? Каким будет при этом уровень материального потребления? Сколько времени удастся его поддерживать? Какую нагрузку испытывает физическая система, которая поддерживает население планеты, экономику и жизнь всех прочих обитателей планеты? Какие типы и величины воздействий может вынести эта поддерживающая система? Каков допустимый предел нагрузок?*

Чтобы ответить на эти вопросы, мы должны от причин роста перейти к анализу его пределов. Именно этому посвящена глава 3.

## Пределы: источники и стоки

---

Технологии, позволившие удерживать на одном уровне или даже снижать стоимость ресурсов, требуют все больших прямых и косвенных затрат... Эта роскошь обходится слишком дорого — она требует, чтобы для получения того же количества ресурса в добывающие отрасли направлялась все большая доля национального дохода.

*Международная комиссия ООН  
по окружающей среде и развитию, 1987 г.*

Наши опасения по поводу грядущей катастрофы проистекают не из веры в то, что мир почти исчерпал запасы энергии и сырья на планете. Все сценарии, созданные моделью *World3*, показывают, что к 2100 г. мир все еще будет располагать значительной долей ресурсов, существовавших в 1900 г. Нашу обеспокоенность в результатах моделирования вызывает скорее растущая стоимость эксплуатации глобальных источников и стоков. Данных на этот счет недостаточно, в мире постоянно идут споры по этому вопросу. Но мы пришли к вполне очевидному заключению о том, что сочетание роста эксплуатации возобновимых источников, истощения невозобновимых источников и переполнения стоков медленно, но верно ведет к увеличению энергии и капитала, необходимых для поддержания количества и качества материальных потоков, которые обеспечивают работу экономики. Дополнительные затраты появляются из-за комбинации физических, экологических и социальных факторов. Постепенно они станут настолько велики, что дальнейший рост в промышленности поддерживать не удастся. Когда это произойдет, цикл положительной обратной связи, раньше работавший на рост материальной экономики, получит обратную направленность: начнется спад.

Привести прямые доказательства этому утверждению мы не можем. Но его можно логически обосновать, а затем учесть косвенные свидетельства. Ради этого в текущей главе приводится подробная информация об источниках и стоках. Мы анализируем текущее и будущее положение дел по большинству видов ресурсов, которые необходимы для поддержания мировой экономики и роста численности населения в XXI в. Список необходимых потоков насчитывает множество пунктов, но его можно разделить на две категории.

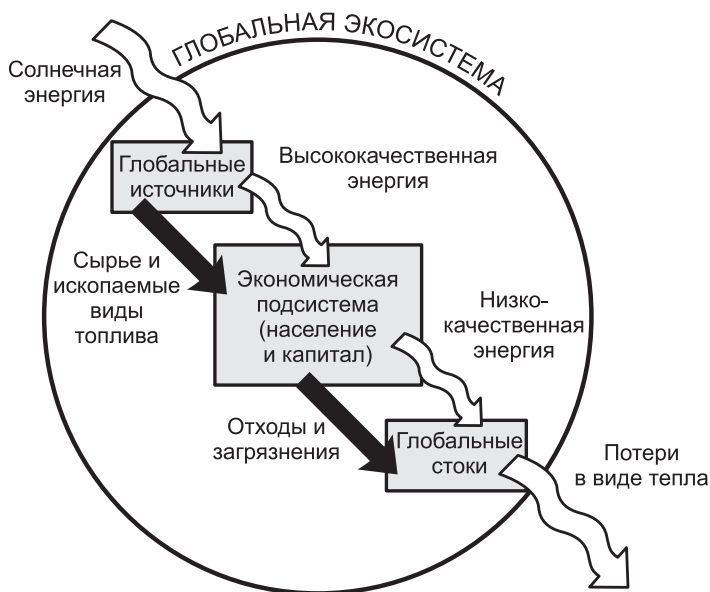
В первую входят физические потребности, поддерживающие биологическую и промышленную деятельность: плодородные земли, полезные ископаемые, металлы, энергия и экологические системы планеты, которые разлагают выбросы и определяют состояние климата на планете. Практически все эти параметры имеют вещественное воплощение и потенциально поддаются учету — например, гектары пахотных земель и лесов, кубические километры пресной воды, тонны металлов, миллиарды баррелей нефти. Тем не менее, определить их точные количества достаточно сложно, суммарные запасы на планете можно оценить только приблизительно. Они связаны друг с другом: одни могут служить заменителями других, а добыча третьих может осложнить получение четвертых. Определения *ресурсов, резервов, потребления и производства* довольно противоречивы, наука не обладает исчерпывающими знаниями о них, а бюрократы часто искажают или скрывают их количества в политических или экономических целях. К тому же информация о физических запасах обычно приводится в экономических показателях — например, в денежном выражении. Цены определяются рынком, а на рынках царят правила, весьма далекие от тех, которые управляют физическими ресурсами. Именно на физических ресурсах мы сосредоточимся в этой главе.

Во вторую категорию попадают социальные факторы, необходимые для роста. Даже если физическая емкость Земли в состоянии поддержать значительно большую численность населения на уровне промышленно развитых стран, тем не менее, фактический рост экономики и численности населения зависит еще и от таких факторов, как мир на планете, социальная стабильность, равенство, личная безопасность, честность и дальновидность политических лидеров, образование и открытость новым идеям, способность признавать ошибки и экспериментировать, а также наличие институтов, обеспечивающих постоянный и действенный технический прогресс.

Такие социальные факторы очень сложно оценить и практически невозможно предсказать с достаточной точностью. Ни в этой книге,

ни в модели *World3* подобные социальные факторы в явном виде не фигурируют. Чтобы включить их в формальный анализ, нам не хватает знаний и установленных причинных связей. Но зато уже доподлинно известно, что хотя плодородные земли, энергия, ресурсы и здоровая окружающая среда необходимы для роста, только их одних недостаточно. Даже если все они присутствуют в изобилии, их доступность может быть ограничена социальными проблемами. В этой книге мы предполагаем, что в обществе будут царить самые благоприятные социальные условия.

Сырье и энергия, используемые населением и капиталом, появляются не по мановению волшебной палочки. Все, что у нас есть, мы берем у планеты. И затем все это никуда не исчезает. После того как потоки использованы в экономической деятельности, остатки сырья идут на переработку или превращаются в отходы и загрязнения, а энергия рассеивается в виде тепла в окружающую среду. Потоки вещества и энергии, проистекающие из глобальных *источников*, проходят через *экономическую подсистему* и направляются в глобальные *стоки*, где и остаются в виде отходов или загрязнителей (рис. 3.1).



**Рис. 3.1.** Население и капитал в глобальной экосистеме

Население и капитал поддерживают свое существование за счет потоков ископаемых видов топлива и невозобновимых ресурсов планеты и производят потоки тепла и отходов, загрязняющих воздух, воду и почву на планете. (Источник: Googland R.; Daly H., and El Serafy S.)

Методы переработки и безотходные технологии могут существенно уменьшить количество отходов и загрязнений, приходящихся на единицу выпускаемой продукции, но исключить их полностью в принципе невозможно. Людям всегда будут нужны еда, чистая вода, жилье и множество различных материалов, чтобы расти, поддерживать здоровье, вести активный образ жизни, создавать новый капитал и новых людей. Оборудованию и зданиям всегда будут требоваться энергия, вода, воздух, множество металлов, химических соединений, биологической продукции. Без этого невозможно создавать потребительские товары и услуги, нельзя поддерживать работу производящей отрасли, создавать больше нового оборудования и новых зданий. Существуют пределы скорости, с которой могут потребляться ресурсы и наполняться отходами стоки, чтобы при этом не наносился вред людям, экономике или экологическим процессам самовосстановления и саморегуляции.

Природа этих пределов довольно сложна, поскольку источники и стоки представляют собой часть динамической системы с множеством взаимосвязей, поддерживаемой планетарными биогеохимическими циклами. Существуют краткосрочные пределы (например, количество очищенной нефти и емкость резервуаров для ее хранения) и долгосрочные пределы (суммарное количество доступной нефти под землей). Источники и стоки могут влиять друг на друга, и одна и та же природная система может выступать в качестве и источника, и стока одновременно. Так, надел земли может быть источником, который позволяет выращивать зерновые культуры, и стоком для кислотного дождя, ставшего результатом загрязнения воздуха. Интенсивность его использования в одном качестве вполне может влиять на возможность использования в другом.

Экономист Герман Дейли предложил три простых правила (критерия), которые позволяют определить пределы устойчивости для потоков сырья и энергии\*.

1. Для *возобновимых ресурсов* — почвы, воды, лесов, рыбы — устойчивая скорость использования не может превышать скорость самовосстановления этих ресурсов. (Так, рыба вылавливается неустойчивыми темпами, если улов превышает количество, которое может быть восполнено оставшейся популяцией рыбы за счет размножения.)

\*

См.: *Daly H. Toward Some Operational Principles of Sustainable Development // Ecological Economics*. 2 (1990). С. 1–6. Дальнейшие исследования описаны во введении к работе: *Daly H. Beyond Growth*. Boston: Beacon Press, 1996.

2. Для *невозобновимых ресурсов* — ископаемых видов топлива, руд с высоким содержанием металлов и других соединений, грунтовых вод — устойчивая скорость потребления не может превышать устойчивой скорости, с которой для замещения невозобновимого ресурса может использоваться другой, возобновимый ресурс. (Например, запасы нефти можно расходовать устойчиво при условии, что часть доходов от этого будет систематически направляться на развитие ветряных генераторов, совершенствование солнечных батарей, посадку деревьев, чтобы к моменту, когда запасы нефти будут исчерпаны, уже была готова достойная замена на основе возобновимого ресурса.)
3. Для *загрязнителей* устойчивая скорость возникновения не должна превышать скорость, с которой загрязнитель может быть разложен, поглощен или переработан средой без вреда для соответствующего стока. (Например, сточные воды могут быть направлены в реку, озеро или слиты в подземные водоносные горизонты устойчиво только при условии, что бактерии и другие организмы смогут справиться с этим потоком питательных веществ без нарушения равновесия или разрушения водной экосистемы.)

Любую деятельность, вызывающую истощение возобновимых запасов, переполнение загрязнением стока, истощение невозобновимого ресурса без создания ему равноценной замены в виде другого возобновимого ресурса, вести нельзя. Рано или поздно ее придется прекратить. Сколько ни велись обсуждения правил Дейли в академических, деловых, правительственных и неправительственных кругах, опровергнуть их никто так и не смог. (Ж сожалению, и людей, которые всерьез пытались бы жить в соответствии с этими правилами, мы тоже не встречали.) Если в природе существуют основные законы устойчивости, то эти критерии должны быть среди них. Вопрос не в том, правильно ли они сформулированы, а в том, соблюдает ли их мировая экономика, и что произойдет, если их нарушать.

Мы будем применять три правила Дейли, чтобы провести общую оценку различных источников и стоков, задействованных в мировой экономике. Начнем с возобновимых источников и зададим вопрос: *расходуются ли они быстрее, чем успевают восстанавливаться?* Для невозобновимых источников запасы по определению должны уменьшаться, поэтому формулировки будут немного иными: *насколько быстро расходуется сырье высокого качества, какова истинная стоимость его добычи и расход на это энергии, капитала?* Наконец, применительно к загрязнителям и отходам вопросы будут такие: *поступают ли они в окружающую среду с безопасной*

*скоростью, успешно ли разлагаются или вместо этого они накапливаются в окружающей среде?*

На эти вопросы следует отвечать не с помощью модели *World3* (в этой главе с ней практически ничего не связано), а на основе мировых статистических данных — всех, какие только есть, по всевозможным источникам и всевозможным стокам\*. В этой главе мы упомянем только некоторые из множества связей между источниками и стоками (например, производство большого количества продовольствия требует больше энергии; загрязнение от производства дополнительного количества энергии может привести к изменению климата и снизить урожайность сельскохозяйственных культур и т. д.).

Пределы, которые мы обсуждаем, — лишь часть из тех, что известны ученым мира на сегодняшний день. И никто не может гарантировать, что эти пределы — самые важные. Здесь нас поджидают как приятные, так и неприятные сюрпризы. С одной стороны, технологии способны улучшить наше будущее, с другой — в будущем могут встретиться новые проблемы, о существовании которых сейчас никто даже не подозревает.

Мы приведем некоторые данные о современном состоянии мира и его перспективах. Такой анализ не даст простого и однозначного ответа на вопрос, где находятся пределы роста. Но он поможет вам сформировать собственное представление о существующих пределах и о влиянии на них текущих тенденций. Хотя мы уже признали, что знаний о пределах у людей явно недостаточно, тем не менее, факты, представленные в этой главе, убедят вас в правильности следующих четырех выводов.

1. Мировая экономика использует множество ключевых ресурсов и производит отходы со скоростями, которые нельзя считать устойчивыми. Источники постепенно истощаются. Стоки заполняются, а в некоторых случаях уже переполнены. Большинство существующих на сегодня потоков поддерживать в таких масштабах продолжительное время невозможно, и тем более нельзя сделать это, если они еще возрастут. Мы ожидаем, что уже в этом столетии многие из потоков достигнут максимума, а затем придут в упадок.

✱

Актуальную, подробную и систематическую информацию по наиболее критичным глобальным пределам можно получить в сборнике: *Brown L. Eco-Economy. New York: W. W. Norton, 2001. Главы 2 и 3. Общий обзор по мировым физическим пределам и статистические данные можно найти в сборнике: World Resources Institute. World Resources 2000–2001: People and Ecosystems: The Fraying Web of Life. Oxford: Elsevier Science Ltd., 2002. Part 2, «Data Tables».*

2. Такие высокие уровни потребления вовсе не являются необходимыми. Технические и организационные перемены, а также изменения в схемах распределения могут радикально уменьшить эти потоки, поддержав на том же уровне или даже увеличив среднестатистическое качество жизни населения мира.
3. Нагрузка на окружающую среду со стороны человека уже превышает уровень устойчивости. Нельзя допускать, чтобы такое воздействие длилось более одного-двух поколений, иначе наступят негативные последствия, которые вызовут ухудшение здоровья людей, а экономика придет в упадок.
4. Истинная стоимость сырья непрерывно растет.

Учет воздействия на окружающую среду со стороны человека очень сложен — численно оценить это влияние неимоверно трудно. Лучший на сегодняшний день подход, один из примененных в этой книге, использует понятие экологического следа человечества (мы уже упоминали его в «Предисловии авторов»). В нем учитываются все виды воздействия человека на среду: суммарный эффект от извлечения ресурсов, выброса загрязнений, использования энергии, разрушения биологического разнообразия, урбанизации и прочих последствий физического роста. Их очень сложно просчитать, но за последнее десятилетие в этом направлении удалось достичь большого прогресса, и работы продолжаются.

Этот многообещающий подход заключается в том, чтобы пересчитать все виды воздействия человека на глобальную экосистему в эквивалентное количество земель, необходимых для поддержки всех потоков, предоставляемых средой человеку, — своего рода «экологическое обслуживание». Площадь территорий на планете ограничена, так что такой подход наглядно демонстрирует, выходит ли человечество за пределы. Рисунок П.1 дает четкий ответ на этот вопрос: да, человечество уже вышло за пределы. Расчеты экологического следа подтверждают: уже на рубеже тысячелетий человечеству требовалось в 1,2 раза больше земель, чем все территории на планете Земля, вместе взятые. К 2000 г. человечество вышло за глобальные пределы на 20%. К счастью, существует множество путей ослабить такую нагрузку на среду, вернуться в допустимые рамки и поддерживать потребности и надежды человечества в более устойчивой форме. Многие из этих путей будут описаны дальше\*.

---

\* Еще больше мер, способствующих устойчивому развитию и ускоряющих переход к нему, приводится в сборнике: Brown. Есо-Есопому. Главы 4–12.



## Возобновимые ресурсы

### Продовольствие, земли, почвы

Большая часть плодородных сельскохозяйственных земель уже используется, и нам хорошо известны экологические последствия от превращения в новые угодья остатков лесов, лугов и болот со всеми ареалами обитания в них... Основная часть оставшихся территорий менее продуктивна и более уязвима... По одной из оценок глобальной эрозии почв, пахотный слой исчезает со скоростью, превышающей скорость восстановления от 16 до 300 раз, в зависимости от региона.

*Институт мировых ресурсов, 1998 г.*

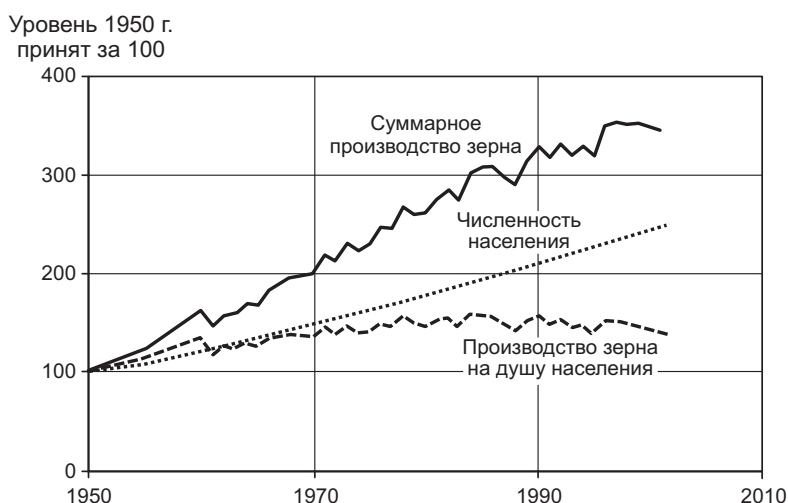
В период с 1950 по 2000 г. производство зерна в мире увеличилось более чем втрое, примерно от 590 млн до 2 млрд т в год. С 1950 по 1975 г. производство зерна росло примерно на 3,3% в год — быстрее, чем рост численности населения в тот же период, составлявший 1,9% (рис. 3.2). Но за последние несколько десятилетий рост производства зерна замедлился, и его скорость стала меньше, чем скорость роста численности населения. Максимум душевого производства зерна был пройден в 1985 г.; с той поры количество на душу населения непрерывно уменьшается, и снижение продолжается даже сейчас\*.

Продовольствия в мире достаточно (по крайней мере, теоретически), чтобы можно было накормить все население планеты. Суммарное количество зерна, произведенного в мире в 2000 г., в состоянии обеспечить прожиточный минимум 8 млрд человек, если распределить его равномерно и не тратить на корм скоту, не терять урожай из-за вредителей и не давать ему гнить в негодных хранилищах. Зерновые составляют примерно половину мировой сельскохозяйственной продукции, выраженной в калориях. Добавьте годовое производство клубневых культур, овощей, фруктов, улов рыбы и животноводческую продукцию (имеется в виду пастбищное животноводство, а не откорм скота зерном), и получится, что на рубеже тысячелетий производство продовольствия было вполне достаточным для того, чтобы обеспечить 6 млрд человек сбалансированным и разнообразным питанием\*\*.

В современном сельском хозяйстве потери зерна после сбора урожая могут быть разными в зависимости от выращиваемой культуры

\* См.: Brown L. R. Feeding Nine Billion // Brown L. R. et al. State of the World 1999. New York: W. W. Norton, 1999. С. 118.

\*\* Цифры рассчитаны нами на основе предположения о достаточности 230 кг зерна на человека в год.



**Рис. 3.2.** Мировое производство зерновых

Мировое сельское хозяйство в 2000 г. произвело в три с лишним раза больше зерна, чем в 1950 г. Однако из-за роста численности населения количество зерна на душу населения достигло максимума в середине 1980-х гг. и пошло на убыль. Современное душевое производство зерна лишь на 40% больше значений 1950 г. (Источники: FAO; PRB.)

и местности, составляя от 10 до 40%\*. Распределение зерна среди населения очень далеко от равномерного, к тому же большая его часть идет на корм скоту, а не на питание людей. Несмотря на то что теоретически зерна достаточно для всего населения земного шара, люди все равно голодают. По оценкам Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO), около 850 млн человек на планете страдают от хронического недоедания\*\*.

От голода страдают в основном женщины и дети. В развивающихся странах каждый третий ребенок недоедает\*\*\*. Примерно 200 млн индийцев постоянно голодают; больше 200 млн — в Африке; 40 млн — в Бангладеш; 15 млн — в Афганистане\*\*\*\*. Около 9 млн человек каж-

\* Данные приведены в издании: WRI, *World Resources 1998–99*. С. 155.

\*\* См.: United Nations Food and Agriculture Organization. *The Sixth World Food Survey*. Rome: FAO, 1996.

\*\*\* См.: Pinstrip-Anderson P., Pandya-Lorch R., Rosengrant M. W. *The World Food Situation: Recent Developments, Emerging Issues, and Long-Term Prospects*. Washington, DC: International Food Policy Research Institute, 1997.

\*\*\*\* См.: Brown L. R., Rermer M., Halweil B. *Vital Signs*. New York: W. W. Norton, 1999. С. 146.

дый год умирают от последствий голода — это почти 25 000 смертей в день.

Численность населения растет, и количество голодающих остается практически неизменным, несмотря на все принимаемые меры. Среднее количество смертей в год из-за голода снижается очень медленно, но даже это считается большим достижением, ведь в мире растущей численности и подступивших пределов ситуация с голодом хотя бы не ухудшается. И все-таки на земном шаре сохраняются области, охваченные голодом, и широко распространены зоны, где люди постоянно недоедают.

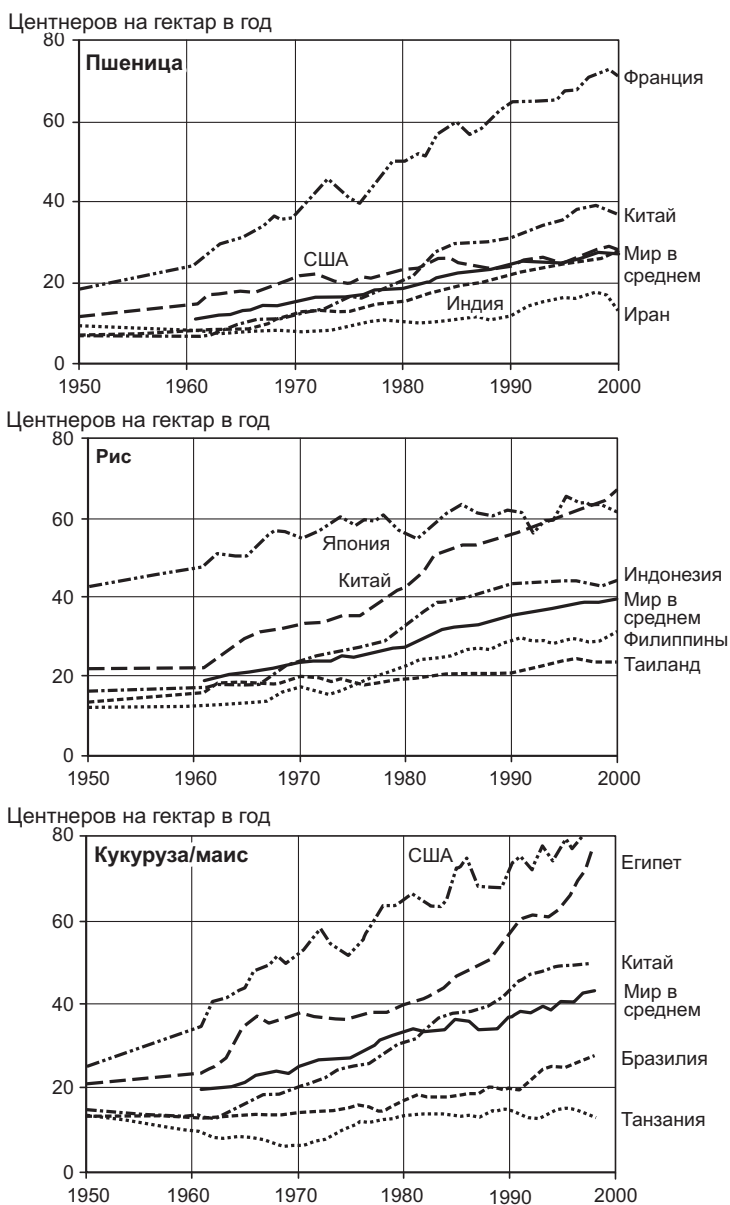
Причины голода кроются не в физических пределах планеты, по крайней мере пока. Можно вырастить и произвести больше продовольствия. Так, рис. 3.3 показывает величины урожая зерновых для некоторых стран и в среднем по миру. Из-за различий в плодородии почв и климате невозможно получить одинаковый урожай с каждого гектара земли — максимум дают только самые плодородные участки. Тем не менее в большинстве регионов можно увеличить урожай, если следовать уже хорошо известным и распространенным методам.

Тщательное исследование почв и климата, проведенное Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН в 117 странах Латинской Америки, Африки и Азии, показало, что только 19 из них *не смогут* прокормить население с помощью собственных земель, даже если задействуют каждый гектар потенциально пахотной земли и соберут максимальный урожай, который только возможен за счет современных технологий. Согласно этому исследованию, если все обрабатываемые земли будут заняты под выращивание урожая, если не будет потерь из-за эрозии, если погода будет идеальной, если управление будет грамотным и сельскому хозяйству будут доступны все необходимые технологии, то эти 117 стран смогут увеличить производство продовольствия в 16 раз\*.

Разумеется, воплотить в жизнь такие нереалистичные расчеты невозможно. Учитывая реальную погоду и существующую практику земледелия, а также необходимость использовать земли и для других целей (под пастбища, леса, места проживания людей, водохранимые зоны, заповедники и т. п.) и негативные последствия от

\*

Расчеты приведены в работе: *Higgins G. M. et al. Potential Population Supporting Capacities of Lands in the Developing World. Rome: FAO, 1982. Выводы этого технического исследования подведены в нетехническом отчете: Harrison P. Land, Food, and People. Rome: FAO, 1984. Множитель 16 основан на крайне оптимистичных предположениях и применяется только к развивающимся странам, в которых на данный момент урожайность низка. Для земель в промышленно развитых странах Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН подобных исследований не проводила.*



**Рис. 3.3.** Урожай зерновых культур

Урожай пшеницы, риса и маиса (кукурузы) выше в промышленно развитых государствах. В некоторых странах с развивающейся промышленностью (Китай, Египет и Индонезия) урожайность быстро растет. В других странах, промышленность которых развита слабо, урожайность по-прежнему невысока, хотя потенциал для ее увеличения есть. Чтобы минимизировать влияние на урожай погодных условий, годовые значения на графиках были усреднены по трехлетним интервалам. (Источник: FAO.)

использования удобрений и пестицидов, добиться на практике можно лишь небольшого увеличения производства зерна. На самом деле, как мы уже знаем, производство в мире зерна на душу населения с 1985 г. даже снижается.

---

«После Второй мировой войны в развивающихся странах был отмечен существенный рост урожайности и производства сельскохозяйственной продукции. Хотя во многих земледельческих районах этот рост был вполне устойчивым, в других регионах он основывался на двух неустойчивых процессах: на расчистке новых земель с низкой продуктивностью или высокой уязвимостью, а также на интенсификации производства за счет чрезмерной эксплуатации почв, в результате чего плодородные слои разрушались»<sup>\*</sup>.

---

Самый очевидный предел — это земля<sup>\*\*</sup>. Оценки потенциально пригодных для обработки территорий на планете варьируются от 2 до 4 млрд га, в зависимости от того, какие земли считать пригодными. Примерно 1,5 млрд га уже используется под выращивание зерновых; эта площадь более или менее постоянна последние 30 лет. Производство продовольствия растет в основном за счет интенсификации земледелия, а не расширения посевных площадей. Но это не значит, что земли обрабатываются устойчиво. В оборот постоянно поступают новые сельскохозяйственные угодья, в то время как другие земли утрачивают свое значение для аграрного сектора из-за эрозии, засоления, урбанизации, опустынивания. В среднем эти процессы уравнивают друг друга, но только по площади земель, а

---

\* Цитируется по статье: *Scherr S. J. Soil Degradation: A Threat to Developing-Country Food Security by 2020? // IFPRI Discussion Paper 27. Washington, DC: IFPRI, February 1999. С. 45.*

\*\* Объемы продовольствия, которые способно дать нам море, существенно меньше, чем сельскохозяйственная продукция, получаемая от обработки земли, и тем очевиднее выход за пределы устойчивости в этой отрасли. Фантастические предположения о том, что продукты питания можно будет получать без использования земель — аквакультуры, биотехнологии, выращивание культур в цистернах и тенках, — реализовать еще сложнее, чем получить продовольствие из других источников. Затраты энергии и капитала на них огромны, равно как и объемы производимых отходов. Производство продовольствия нетрадиционными методами, не основанными на фотосинтезе за счет энергии солнца и не использующими сельскохозяйственные территории, будет еще более неустойчивым, чем существующие системы аграрного сектора. Генетически модифицированные культуры (по крайней мере, пока) позволяют скорее повысить устойчивость к сельскохозяйственным вредителям и гербицидам, а также снизить затраты при выращивании, но не увеличить урожайность — в этом радикального улучшения добиться не удастся.

не по качеству. Самые плодородные угодья всегда обрабатывались в первую очередь. К сегодняшнему дню они уже истощены, поэтому приходится брать в оборот все менее плодородные участки\*.

По оценкам Программы ООН по окружающей среде, проведенным в 1986 г., за прошедшую тысячу лет люди превратили около 2 млрд га плодородных земель в пустоши, на которых земледелие вести нельзя\*\*. Это больше, чем все современные посевные площади, вместе взятые. Около 100 млн га пахотной земли утрачено из-за засоления, продуктивность других 110 млн га постоянно снижается. Скорость, с которой утрачивается гумус, плодородный слой, постоянно растет. До промышленной революции она составляла примерно 25 млн т в год, последние несколько столетий порядка 300 млн т в год, а за последние 50 лет — по 760 млн т ежегодно\*\*\*. Потеря гумуса приводит не только к уменьшению плодородия, но и к росту содержания углекислого газа в атмосфере.

Первое сравнительное исследование потерь почв, проведенное благодаря работе нескольких сотен региональных экспертов, было опубликовано в 1994 г. В нем сделан вывод о том, что 38% (562 млн га) сельскохозяйственных земель, используемых в настоящее время, уже деградировали (так же как 21% постоянных пастбищ и 18% лесов)\*\*\*\*. Степень деградации варьируется от средней до тяжелой.

Нам не удалось найти глобальные данные по изъятию сельскохозяйственных площадей под дороги и зоны застройки, но потери за счет этого должны быть очень значительными. Город Джакарта захватывает окрестные земли со скоростью 20 тыс. га в год. Во Вьетнаме теряется по 20 тыс. га в год рисовых полей — они идут под городскую застройку. В период с 1989 по 1994 г. в Таиланде 34 тыс. га сельскохозяйственных угодий превратились в поля для гольфа. В Китае с 1987 по 1992 г. под строительство ушло 6,5 млн га пахотных земель,

---

\* Очень полезные обзорные материалы по эрозии почв в глобальных масштабах содержатся в исследовании: Scherr, «Soil Degradation».

\*\* См. материалы: United Nations Environment Program, «Farming Systems Principles for Improved Food Production and the Control of Soil Degradation in the Arid, Semi-Arid, and Humid Tropics», результат встречи экспертов под эгидой института International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Hyderabad, India, 1986.

\*\*\* По данным статьи: *Rosanov B. G., Targulian V., Orlov D. S. Soils // The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere Over the Past 30 Years / ed. by B. L. Turner et al. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. См. также: Brown. Eco-Economy. С. 62–68.*

\*\*\*\* См. работы: *Oldeman L. R. The Global Extent of Soil Degradation // Soil Resilience and Sustainable Land Use / ed. by D. J. Greenland и T. Szaboles. Wallingford, UK: Commonwealth Agricultural Bureau International, 1994.*

и одновременно 3,8 млн га лесов и пастбищ пришлось расчищать под пашню. В США под полотнами дорог ежегодно исчезает более 170 тыс. га сельскохозяйственных территорий\*.

Из-за таких процессов истощаются два источника возобновимых ресурсов. Первый — качество почвы на обрабатываемых землях (толщина слоя, содержание гумуса, продуктивность). Долгое время такие потери могут оставаться незамеченными, поскольку это не сразу сказывается на производстве продовольствия, ведь питательные вещества почв могут замещаться питательными веществами из удобрений\*\*. Удобрения маскируют переэксплуатацию почв, но не до бесконечности. Сами по себе они представляют неустойчивый поток, поступающий в экологическую систему и задерживающий передачу информации о плодородии почвы. Такое запаздывание — ключевой фактор, ведущий к выходу системы за пределы.

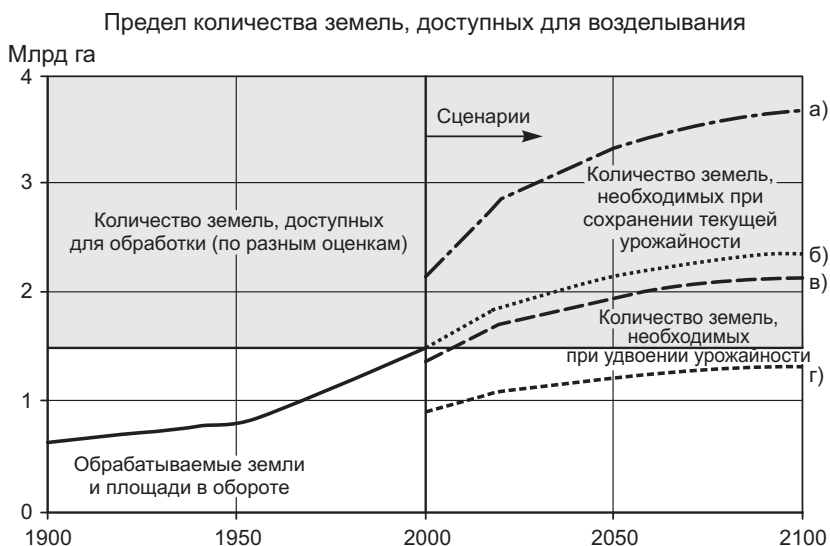
Второй процесс — неустойчивое использование самой земли. Если миллионы гектаров деградируют и их просто бросают, но при этом площадь используемых земель остается почти постоянной, значит, запасы потенциально пахотных земель (как мы увидим дальше, обычно в таком качестве выступают леса) истощаются, в то время как площади пустошей и бесплодных земель постоянно растут. Продовольствие, обеспечивающее существование населения мира, производится в результате постоянного захвата новых земель под сельское хозяйство, поскольку прежние угодья истощаются, засоляются, страдают от эрозии, расширения дорог и зон застройки. Совершенно очевидно, что такой процесс не может продолжаться вечно.

Если численность населения экспоненциально растет, а площадь обрабатываемой земли остается почти неизменной, значит, площадь в расчете на душу населения неуклонно уменьшается. На практике цифры таковы: в 1950 г. на душу приходилось по 0,6 гектара сельскохозяйственных угодий, а к 2000 г. эта цифра уменьшилась до 0,25 гектара. Прокормить растущее население при уменьшении площади на душу удается только потому, что растет урожайность. В 1960 г. в среднем с гектара собирали 2 т риса, в то время как в 1995 г. — 3,6 т, а на экспериментальных полях (т. е. практически в идеальных условиях) до 10 т. Кукурузные (маисовые) поля в США

---

\* Все перечисленные данные почерпнуты из материалов: Gardner G. Shrinking Fields: Cropland Loss in a World of Eight Billion // Worldwatch Paper. 131. Washington, DC: Worldwatch Institute, 1996.

\*\* См.: WRI, *World Resources 1998–99*, 157. По оценкам, потери почвы в период с 1945 по 1990 г. достигли таких масштабов, что производство продовольствия из-за этого снизилось на 17% в сравнении с тем, каким оно могло быть.



**Рис. 3.4.** Возможное будущее сельскохозяйственных территорий

Площади обрабатываемых земель в XXI в. составят от 1,5 до 4,0 млрд га, что на рисунке выделено серым фоном. Предположим, что численность населения будет расти в соответствии со средним прогнозом ООН. Сценарии после 2000 г. показывают, сколько земли потребуется (при сохранении текущей урожайности с гектара и при увеличении ее вдвое) для того, чтобы прокормить население планеты в соответствии с сегодняшним фактическим распределением продовольствия, а также чтобы прокормить все население мира равномерно, на уровне потребления жителя Западной Европы в 2000 г. (Источники: UN; FRB; FA; G.M. Higgins et al.)

давали в 1967 г. урожай в 5 т с гектара, в 1997 г. — более 8 т, а лучшие хозяйства в самые удачные годы снимали по 20 т с гектара.

Как можно трактовать эти данные применительно к будущему истощению сельскохозяйственных земель? На рис. 3.4 показано несколько сценариев развития аграрного сектора в текущем столетии. Он иллюстрирует связь между суммарной площадью угодий, ростом численности населения, средней урожайностью и среднестатистическим уровнем питания человека.

Область, выделенная серым цветом, показывает суммарные площади потенциально пригодных для обработки земель, от актуального количества (1,5 млрд га) до теоретического максимального предела в 4 млрд га. Угодья, относящиеся к верхней части выделенной области, будут иметь продуктивность существенно ниже, чем те, что показаны в нижней части. Разумеется, суммарное количество обрабатываемых земель может уменьшиться, но на рис. 3.4 мы исходим из предположения о том, что территории больше теряться не будут.



Во всех сценариях мы предполагали, что численность населения будет расти в соответствии со средним прогнозом ООН.

Каждое следующее повышение урожайности дается труднее и дороже, чем предыдущее, и происходит все медленнее. В США некоторые эксперты по сельскому хозяйству предполагают, что данные 1999 г. характеризует выход кривой урожайности на плато\*. Эрозия, изменение климата, удорожание ископаемого топлива, снижение уровня грунтовых вод и другие факторы могут привести даже к снижению урожайности относительно современного уровня. Надеяться на повышение нет никаких разумных оснований. Однако графики на рис. 3.4 построены в предположении, что урожайность будет либо сохраняться прежней, либо увеличится вдвое.

Предположим, что текущая урожайность сохранится. График «а» показывает площадь земель, необходимых для того, чтобы прокормить население мира в соответствии со среднестатистическим уровнем питания жителей Западной Европы в 2000 г. График «б» отражает потребности в землях для поддержания существующего (неравномерного) распределения продовольствия среди населения мира в текущем столетии. Предположим, урожайность удвоится. График «в» показывает количество гектаров земли, необходимой для того, чтобы прокормить население мира в соответствии со среднестатистическим уровнем питания жителей Западной Европы в 2000 г. График «г» отображает потребности в площадях для поддержания существующего (неравномерного) распределения продовольствия среди населения планеты в текущем столетии.

Нетрудно заметить, что экспоненциальный рост численности населения быстро приводит мир от избытка сельскохозяйственных земель к недостатку.

Однако рис. 3.4 показывает еще и варианты изменения поведения в зависимости от устойчивости ресурсной базы и гибкости человечества (технологической и социальной). Если удастся больше не терять сельскохозяйственные площади, если вдвое повысится урожайность, если получится восстановить деградировавшие земли, то еды будет достаточно не только для каждого из сегодняшних 7 млрд человек, но и для всех 9 млрд, ожидаемых к середине текущего столетия. Но если эрозия увеличится, если не удастся поддерживать в действии системы орошения, если будет слишком сложно добиться удвоения среднемирового урожая или это окажется опасно для окружающей среды, если численность населения будет расти быстрее,

\* Цитируется по ссылке на авторов: Cassman, Ruttan and Loomis, приведенной в работе: Mann C. C. Crop Scientists Seek a New Revolution // *Science*. 1999. 283, January 15. С. 310.

чем предсказывают прогнозы ООН, то продовольствия будет недостаточно не только в локальном масштабе, но и по всему миру, причем довольно скоро. Нехватка продуктов питания покажется внезапной, но на самом деле это станет логичным последствием экспоненциального роста.

Эти данные заставляют задуматься. Средняя урожайность кукурузы (маиса) неуклонно растет, но максимальные достижения — лучшие возможные результаты — за последние 25 лет совершенно не изменились. Средний годовой урожай подбирается к значению в 90 центнеров с гектара, но при этом инвестиции в исследования по разведению этой культуры выросли в 4 раза. Когда каждый последующий шаг обходится дороже предыдущего, это свидетельствует об уменьшении плодородия.

*Кеннет С. Кассман, 1999 г.*

Я сам себя не могу убедить в том, что в следующие 50 лет урожайность будет расти.

*Вернон Руттан, 1999 г.*

Максимальная урожайность риса за 30 лет ничуть не изменилась. В производстве биомассы мы вышли на плато, и этому нет простого объяснения.

*Роберт С. Лумис, 1999 г.*

Неустойчивое использование сельскохозяйственных ресурсов — следствие многих факторов, включая нищету и безысходность, расширение зон застройки, чрезмерный выпас скота на пастбищах, переэксплуатацию посевных площадей, недостаток знаний, экономические выгоды от краткосрочного производства, отсутствие предусмотрительности в долговременной перспективе... Разумеется, сказывается и невежество лиц, принимающих решения, — многие из них ничего не знают об экологии в целом и о почвенных экосистемах в частности.

Кроме почвы и земель существуют и другие факторы, ограничивающие производство продовольствия — прежде всего вода (про нее сейчас поговорим), энергия, источники и стоки сельскохозяйственных химикатов\*. В отдельных частях света некоторые из этих преде-

\* Прекрасный обзор по всем перечисленным факторам и их возможному влиянию на будущее сельского хозяйства см. в работе: *Naylor R. Energy and Resource Constraints on Intensive Agricultural Production // Annual Reviews of Energy and Environment. 1996. 21. С. 99–123.*

лов уже превышены. Почвы подвергаются эрозии; орошение приводит к снижению уровня грунтовых вод; стоки с полей, содержащие химические вещества, загрязняют поверхностные и грунтовые воды. Так, в больших поверхностных водоемах земного шара существует 61 мертвая зона — это области, в которых питательные вещества (в основном удобрения и частицы почвы, попавшие в воду со стоками с полей) привели к уничтожению практически всех водных форм жизни. В некоторых местах такое происходит круглый год, в других — только летом, после того, как весенние стоки смывают удобрения с полей, расположенных выше. Мертвая зона Миссисипи охватывает 21 000 кв. км — территория равна площади штата Массачусетс\*. Технологии ведения сельского хозяйства, используемые на этих землях, приводят к значительному нарушению экологического равновесия, и устойчивыми их назвать никак нельзя. Самое интересное, что в подобных методах даже нет необходимости!

Во многих местах почва не подвержена эрозии, землю никто не оставляет без использования, а сельскохозяйственные химикаты не загрязняют угодья и водоемы. Методы, которые сохраняют и улучшают почвы, — террасное земледелие, контурная вспашка, использование компоста, посев покровных культур, многокультурные посадки, ротация — известны испокон веков. Другие технологии, частично применимые в тропиках — например, полосное земледелие, совмещение с лесоводством, — уже опробованы на экспериментальных участках и фермах\*\*. Любые сельскохозяйственные угодья, расположенные как в средних, так и в тропических районах, способны давать устойчиво высокие урожаи без широкого применения химических удобрений и пестицидов, а иногда и вообще без химических удобрений и пестицидов.

Обратите внимание: в предыдущем предложении сказано: *высокие урожаи*. Уже давно достоверно установлено, что «органическое» фермерство совсем не обязательно должно быть примитивным или использовать методы ведения сельского хозяйства столетней давности. Большинство из «органических» ферм использует высокоурожайные разновидности культур; машины, сводящие ручной труд к минимуму; а также передовые экологические методы увеличения продуктивности и борьбы с сельскохозяйственными вредителями. Их урожаи практически такие же, как у соседей, всюю использу-

\* См.: McConnaughey J. Scientists Seek Ways to Bring Marine Life Back to World's «Dead Zones» // Los Angeles Times. 1999. August 8.

\*\* См., например, работы: Dover M. J. and Talbot L. M. To Feed the Earth: Agro-Ecology for Sustainable Development. Washington, DC: WRI, 1987.

ющих химические удобрения, но прибыли в итоге будут выше\*. Если хотя бы часть исследований, посвященных химическим удобрениям и генной инженерии, направить на развитие «органического» производства, то такое ведение сельского хозяйства стало бы даже более продуктивным, чем традиционное.

---

«В отличие от широко используемых сегодня высокоинтенсивных технологий, "органические" способы ведения сельского хозяйства позволяют увеличить плодородие почвы и оказывают меньшее воздействие на окружающую среду. Такие альтернативные методы хозяйствования способны обеспечить урожайность на уровне традиционных»\*\*.

---

Устойчивое сельское хозяйство не просто возможно — оно уже практикуется во многих местах. Миллионы фермеров в разных частях света применяют экологичные методы ведения сельского хозяйства, замечая, что процесс разрушения почв обращается вспять, а урожаи продолжают расти. Потребители (как минимум, в богатых странах) все больше отдают предпочтение такой экологически чистой продукции и готовы платить за нее большие деньги. В США и Европе рынок «органических» продуктов питания в 1990-е гг. рос на 20–30% в год. К 1998 г. продажи подобной продукции и напитков на мировом рынке составили 13 млрд долларов\*\*\*.

Почему мы не возлагаем большие надежды на генетически модифицированные злаки? Потому что окончательный вердикт на их счет еще не вынесен. Слишком разные мнения существуют в этой области. Пока неясно, нужна ли генная инженерия для того, чтобы прокормить мир, и устойчива ли она. Люди голодают не потому, что еды слишком мало, а лишь потому, что не в состоянии себе ее позволить — просто не могут купить. Производство большего количества дорогого продовольствия ничем им не поможет. И хотя генная инженерия, возможно, в состоянии поднять урожайность, на самом

---

\* Существует много литературы на тему «органических», «экологичных» сельскохозяйственных технологий, использующих малые количества входных потоков. Общемировые примеры приводятся в материалах федерации International Federation of Organic Agricultural Movements на сайте [www.ifoam.org/](http://www.ifoam.org/)

\*\* См. статью: *Tilman D. The Greening of the Green Revolution // Nature. 1998. 396, November 19. С. 211*; а также публикацию: *Drinkwater L.E., Wagoner P., Sarrantonio M. Legume-Based Cropping Systems Have Reduced Carbon and Nitrogen Losses // Nature. 1998. 396, November 19. С. 262.*

\*\*\* См. обзор: *FoodReview № 24-1. Washington, DC: Food and Rural Economics Division, US Department of Agriculture, July 2001.*

деле существует огромное количество способов сделать это и без нее. Вмешательство в геном — это и слишком высокая технология, чтобы быть доступной любому фермеру, и слишком высокий экологический риск. Поспешный переход на биотехнологические культуры уже вызывает экологические, сельскохозяйственные и потребительские проблемы\*.

На самом деле, всех людей можно обеспечить качественным продовольствием, его уже сегодня производится вполне достаточно. И можно произвести даже больше. При этом можно снизить загрязнение, использовать меньше земель, расходовать меньше ископаемого топлива, и за счет таких мер вернуть природным системам миллионы гектаров или использовать их для производства фуража, энергии, хлопка и льна. Сделать это можно таким образом, чтобы фермеры достойно вознаграждались за то, что они кормят мир. Вот только у политиков желание сделать это почти отсутствует. На практике во многих районах мира почвы, земли и источники питательных веществ для производства продовольствия истощаются. Аграрный сектор и фермерские сообщества приходят в упадок. В таких районах существующие технологии производства сельскохозяйственной продукции привели к выходу за целую группу пределов. Если это срочно не изменить — а такие изменения вполне возможны, — то растущее население будет пытаться прокормиться за счет меньшего количества фермеров, в распоряжении которых будет постоянно истощающаяся ресурсная база.

## Вода

Во многих странах — и развивающихся, и развитых — использование воды ведется неустойчивыми методами...

Мир сталкивается со все более серьезными проблемами с количеством и качеством воды...

Водные ресурсы истощаются, что подрывает одну из основ, на которых построено человеческое общество.

*Всесторонняя оценка запасов пресной воды,  
отчет ООН, 1997 г.*

Пресная вода — не общемировой ресурс, она распределена локально и доступна только в определенных водных бассейнах, в границах водоразделов, поэтому пределы принимают самые разные формы. В некоторых регионах ограничения носят сезонный характер и зави-

\*

См. публикацию: *Meadows D. H. Poor Monsanto // Whole Earth Review. Summer 1999. С. 104.*

сят от умения человека запастись водой на время сухого сезона. В других местах пределы определяются темпами восполнения подземных водных горизонтов, скоростью таяния снегов или способностью лесных почв запастись водой. Поскольку вода — не только источник, но и сток, ее использование может быть ограничено степенью загрязнения, причем и на поверхности, и под землей.

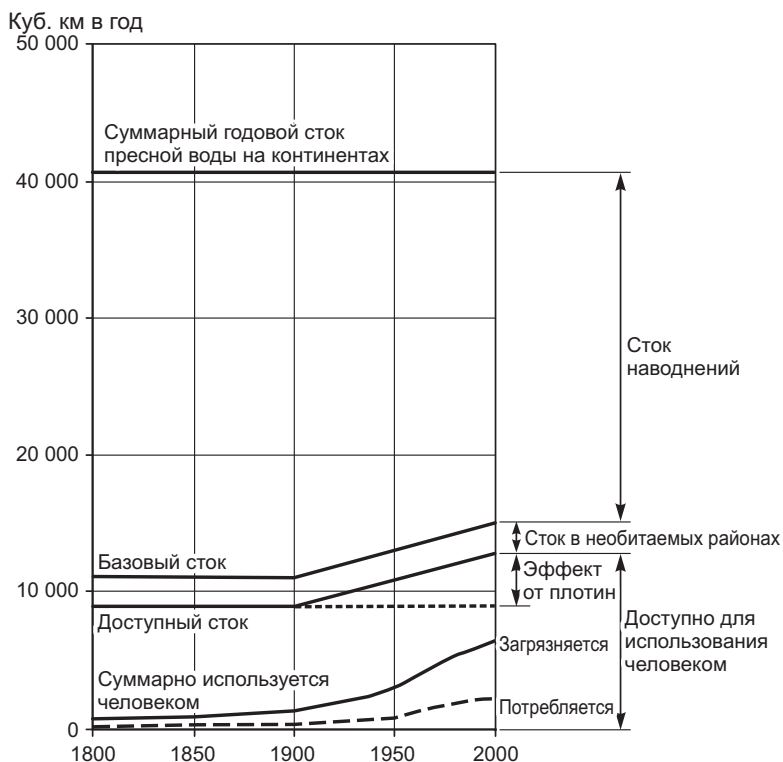
Распределенный характер водных ресурсов не мешает людям делать глобальные заявления по этому вопросу, и они внушают все большее опасение. Воду невозможно заменить, это ключевой ресурс. Ее пределы накладывают ограничения на другие потоки — продовольствия, энергии, количество рыбы, наземных видов животных... Использование этих потоков — продовольствия, полезных ископаемых, древесины и прочего — в свою очередь, тоже может влиять на количество или качество воды. В большинстве водных бассейнов пределы, без сомнения, уже превышены. В некоторых беднейших и богатейших странах потребление воды на душу населения уже уменьшается из-за наступивших экологических последствий, роста цен или истощения водных запасов.

Рисунок 3.5 служит самой общей иллюстрацией происходящего, поскольку на нем представлены сводные данные по всему миру по основным водным бассейнам. Для каждого региона в отдельности можно построить свои графики, но общие характеристики принципиально будут такими же: предел; ряд факторов, которые могут его расширить или сузить; рост в направлении предела (а в некоторых регионах — уже за пределами).

В верхней части графика показан физический предел использования воды человеком — суммарный годовой сток всех рек и водоемов мира, включая восполнение подземных водоносных горизонтов. Это возобновимый источник, из которого человечество удовлетворяет практически все свои потребности в пресной воде. Количество ее огромно: 40 700 куб. км в год. Этого достаточно, чтобы заново заполнять все североамериканские Великие озера каждые четыре месяца. Создается впечатление, что мы еще очень далеки от предела, ведь текущее потребление воды человеком составляет всего  $\frac{1}{10}$  предельно допустимого количества: 4430 куб. км в год\*.

Но на самом деле использовать весь сток пресных вод невозможно. Многие источники имеют сезонный характер. Примерно 29 000 куб. км годового стока поступает в океан при наводнениях. Остается только 11 000 куб. км, которые можно расценивать в

\* См. статью: *Postel S., Daily G. C., Ehrlich P. R. Human Appropriation of Renewable Fresh Water // Science. 1996. 271, February 9. С. 785–788.* Эта публикация — источник всех данных, приведенных на рис. 3.5.



**Рис. 3.5.** Пресная вода

Графики отображают мировые запасы пресной воды, а также скорость, с которой растут ее потребление и загрязнение, приближаясь к максимуму — всему количеству воды, доступному для использования. Также показано влияние плотин на обеспечение человека запасами воды. (Источники: P. Glick; S.L. Postel et al; D.J. Vague; UN.)

качестве круглогодичного источника, причем сюда входят и стоки рек, и возобновимые подземные водоносные горизонты.

По рис. 3.5 понятно, что человек поднимает пределы выше за счет постройки плотин, которые позволяют запастись водой при наводнениях. К концу XX в. плотины позволили человеку получить в распоряжение дополнительно 3500 куб. км воды в год\*. Однако с плотинами неизбежно связано затопление земель, причем, как правило, первоклассных сельскохозяйственных угодий. Перепад высот на плотинах позволяет генерировать электричество. Но при этом большая

\* Суммарное количество всех созданных человеком запасов воды составляет около 5500 куб. км, однако лишь чуть более половины этого объема доступно для использования на устойчивой основе.



площадь зеркала приводит к увеличению испарения из водохранилища, что уменьшает доступный запас воды. Одновременно происходят изменения в водных экосистемах — как озерных, так и речных. Раньше или позже водохранилища заполняются илом и становятся неэффективными, поэтому считать их устойчивым источником нельзя. Плотины приводят к появлению еще одного запаздывания в глобальной системе, связанного с получением отклика от пределов. Это имеет массу положительных и отрицательных последствий.

Существуют и другие способы поднять предел выше, не связанные с использованием плотин: например, опреснение морской воды или ее транспортировка из удаленных источников. Такие методы могут быть важны в локальных масштабах, но они требуют очень большого расхода энергии и обходятся чрезвычайно дорого. В масштабах мира в целом их использование слишком мало, поэтому на диаграмме они незаметны\*.

Не все устойчивые потоки доступны именно в тех местах, где проживают люди. Бассейн Амазонки располагает примерно 15% мирового стока пресной воды, но проживает в нем только 0,4% мирового населения. Северные реки Евразии и североамериканского континента имеют суммарный сток около 1800 куб. км в год, при том, что плотность населения в этих областях очень низка. Примерно 2100 куб. км пресной воды в год относятся к стабильному, но труднодоступному стоку.

11 000 куб. км — это устойчивый поток, еще 3500 куб. км дают плотины; вычтем из этого количества 2100 куб. км труднодоступных вод, и в итоге останется 12 400 куб. км в год — это устойчивый и одновременно доступный поток. Таков предсказуемый верхний предел количества пресной воды, которую может использовать человек\*\*.

\* Мировые возможности по опреснению воды в 1996 г. составляли порядка 6,5 куб. км в год — около 0,1% от суммарного потребления воды человечеством. Опреснение — чрезвычайно капиталоемкая и энергоемкая отрасль. Семь из десяти ведущих стран, практикующих опреснение, расположены в Персидском заливе, где других источников пресной воды практически нет, зато ископаемое топливо имеется в избытке, и потому энергия, добытая за счет его сжигания, обходится дешево. См.: *Gleick P. H. The World's Water 1998–99*. Washington, DC: Island Press, 1999. С. 30.

\*\* Предел можно поднять выше (и, наверное, так и произойдет) за счет постройки новых плотин, однако самые подходящие места для этого уже использованы. Строительству плотин препятствует негативное отношение населения, ведь из-за них уменьшаются площади плодородных сельскохозяйственных земель, затопляются поселки местных жителей, страдает дикая природа. См. итоговый отчет комиссии World Commission on Dams ([www.dams.org](http://www.dams.org)): *Dams and Development: A New Framework for Decision-Making*. London: Earthscan, 2000.



При потреблении определенное количество воды не возвращается в поверхностные водоемы (испаряется или включается в состав зерновых или другой продукции) — оно составляет примерно 2290 куб. км в год. Еще 4490 куб. км человек расходует в основном на то, чтобы растворить или смыть загрязнения и удалить их вместе с потоком воды из места использования. В сумме эти количества дают 6780 куб. км в год, т. е. чуть больше половины суммарного устойчивого потока пресной воды.

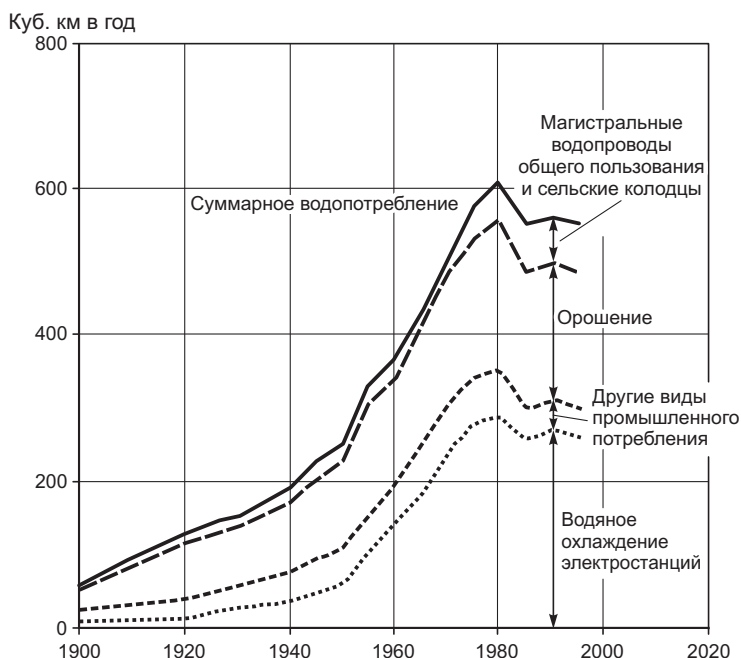
Значит ли это, что потребление воды без особых последствий можно удвоить? Возможно ли еще одно такое удвоение?

Если средние потребности воды на душу населения не изменятся, а численность населения достигнет 9 млрд человек (как предполагает ООН, к 2050 г.), то человечество будет потреблять 10 200 куб. км в год — это 82% мирового устойчивого стока пресной воды. Если возрастет не только душевое потребление воды, но и ее расход на единицу капитала, то мир столкнется с серьезной нехваткой воды задолго до 2100 г. На протяжении XX в. потребление воды росло в 2 раза быстрее, чем численность населения\*. Но при дефиците воды, скорее всего, ее потребление на единицу капитала стабилизируется или даже снизится. Уже сейчас рост кривой водопотребления заметно замедлился, а в некоторых областях земного шара график даже пошел вниз. Использование воды во всем мире на сегодняшний день составляет лишь половину количества, предсказанного 30 лет назад с помощью экстраполяции экспоненциальных кривых\*\*.

Удваиваясь примерно каждые 20 лет на протяжении всего XX в., водопотребление достигло максимума примерно в 1980 г., а затем уменьшилось примерно на 10% (рис. 3.6). Причин для подобного снижения много, но все они имеют прямое отношение к процессам, происходящим в экономике, когда она достигает предела — в данном случае сталкивается с нехваткой воды. Промышленное использование снизилось на 40% — частично за счет переноса тяжелой промышленности в другие регионы мира, но также и за счет принятия законов о качестве воды, которые делают выгодным или обязательным (а может, и то и другое) эффективное водопотребление, применение замкнутых циклов водооборота и очистку воды перед сбросом в окружающую среду. Использование воды на орошение уменьшилось благодаря возросшей эффективности, а также из-за роста городов — он приводит к тому, что земли больше не используются для производства продовольствия, и вода становится ферме-

\* См.: WRI, World Resources 1998–1999. С. 188.

\*\* См.: *Gleick. Water*. С. 14.



**Рис. 3.6.** Использование воды в США

Потребление воды в США росло с начала XX в. примерно до 1980 г. со средней скоростью 3% в год. С 1980 г. водопотребление несколько уменьшилось, график вышел на плато. (Источник: P. Gleick.)

рам недоступна. Водопотребление на единицу капитала особенно уменьшилось в засушливых регионах мира — возросшие цены на воду стимулировали внедрение более эффективных технологий использования воды\*.

Водопотребление на единицу капитала в США несколько уменьшилось, однако личное потребление воды населением остается очень высоким — 1500 куб. м на человека в год. Среднестатистический горожанин в развивающемся мире расходует лишь треть такого количества, а среднестатистический житель территорий, расположенных рядом с пустыней Сахара, — вообще всего одну десятую\*\*. Миллиард человек все еще испытывают нехватку питьевой воды. Половина населения мира не обеспечена канализацией\*\*\*. Их потребность

\* См.: Gleick. Water. С. 1–2.

\*\* См. отчет: United Nations Development Program, Human Development Report 1998. New York: Oxford University Press, 1998. С. 210.

\*\*\* См.: Gleick. Water. С. 2.

в воде растет, да она и должна расти. К сожалению, эти люди живут в тех областях мира, где доступной воды меньше всего.

«Около трети мирового населения проживает в странах, испытывающих среднюю или сильную нехватку воды, что частично объясняется ростом численности населения и расширением человеческой деятельности. К 2025 г. примерно  $\frac{2}{3}$  мирового населения будут испытывать дефицит водных ресурсов. Нехватка воды и ее загрязнение приводят к повсеместному возникновению проблем со здоровьем, ограничивают общеэкономическое и аграрное развитие страны, наносят ущерб большому количеству экосистем. Это может привести к тому, что мировое производство продовольствия будет располагаться очагами, и тогда многие регионы мира будут страдать от застоя»<sup>\*</sup>.

Из Нила, Инда, Ганга, Колорадо, Желтой реки, Сырдарьи и Амударьи на орошение и снабжение городов забирается столько воды, что они мелеют на протяжении либо части, либо даже всего года. В самых сельскохозяйственных штатах Индии — Пенджаб и Харьяна — уровень грунтовых вод понижается каждый год на 0,5 м. В Северном Китае из скважин выкачивается ежегодно 30 куб. км воды, и это одна из причин, по которым мелеет Желтая река. Из водоносного горизонта Огалалла, снабжающего водой  $\frac{1}{5}$  всех орошаемых земель США, ежегодно выкачивается 12 куб. км воды. Его истощение к сегодняшнему дню уже привело к отсутствию орошения на 1 млн га сельскохозяйственных земель. Центральная долина Калифорнии, где выращивается половина всего урожая фруктов и овощей, перерасходует примерно 1 куб. км грунтовой воды в год. По всей Северной Африке и Ближнему Востоку воду выкачивают из пустынных подземных горизонтов, практически либо совсем не возобновляющихся<sup>\*\*</sup>.

Перерасход грунтовых вод идет все быстрее. Неустойчивое использование грунтовых вод происходит на всех континентах, кроме Антарктиды.

*Питер Глейк, Отчет по мировым запасам пресной воды, 1998–1999 гг.*

<sup>\*</sup> См. отчет: UN Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World, 1997.

<sup>\*\*</sup> Этот и многие другие примеры содержатся в работе: *Postel S. Pillar of Sand: Can the Irrigation Miracle Last?* New York: W. W. Norton, 1999.

Выкачивание грунтовых вод со скоростями, которые превышают их восполнение, — неустойчивый процесс. Либо виды деятельности, зависящие от него, придут в соответствие со скоростью восстановления ресурса, либо, если перерасход продолжится, водоносный горизонт разрушится из-за просачивания соленых вод, проседания земли или просто истощения, а то и всех этих явлений, вместе взятых. Поначалу последствия нехватки воды ощущаются только локально, но затем они распространяются на другие страны, становятся шире и шире, и тогда негативные изменения приобретают международный масштаб. Первый вероятный симптом при этом — рост цен на зерно.

---

«Страны, испытывающие нехватку воды, удовлетворяют растущие потребности городов и промышленности путем уменьшения орошения, а также за счет импортирования зерна, чтобы компенсировать уменьшение собственного производства. Поскольку 1 т зерна эквивалентна 1000 т воды, импорт зерна — самый эффективный способ импортировать воду... Хотя вооруженные конфликты из-за водных ресурсов возможны всегда, конкуренция за воду происходит в основном на мировых зерновых рынках... Иран и Египет... уже импортируют больше пшеницы, чем Япония, традиционно ведущий мировой импортер. Импорт покрывает от 40% суммарного потребления зерна... в обеих ближневосточных странах. Многие другие государства, испытывающие недостаток воды, также импортируют большую часть зерновых. Марокко ввозит 50%, Алжир и Саудовская Аравия — более 70%. Йемен импортирует около 80% зерна, а Израиль — более 90%... Китай вскоре тоже будет вынужден выйти на мировой зерновой рынок»\*.

---

Последствия для общества, которое слишком далеко вышло за пределы по расходу воды, зависят от того, богатое это общество или бедное, есть ли достаточно водных ресурсов у ближайших соседей и хватает ли им самим этой воды. Богатые общества могут импортировать зерно. Обеспеченное государство, окруженное услужливыми соседями (например, как южная Калифорния), может строить каналы, прокладывать трубопроводы и ставить насосы, чтобы импортировать воду. (Хотя иногда в таких случаях соседи начинают просить вернуть им эту воду обратно.) Богатые общества с большими запасами нефти, как, например, Саудовская Аравия, могут себе позволить использовать энергию ископаемого топлива, чтобы опреснять морскую воду (пока хватит ископаемого топлива). Состоятельные общества, у которых нет ни того ни другого, как Израиль, могут раз-

---

\* См.: Brown L. R. Water Deficits Growing in Many Countries // Eco-Economy Update. Washington, DC: Earth Policy Institute, August 6, 2002. С. 2–3.

вить такие технологии, что каждая капля воды будет работать с максимальной эффективностью, при этом основной упор будет делаться на методы, требующие применения минимального количества воды. Некоторые страны могут использовать военную силу для того, чтобы захватить или получить доступ к водным ресурсам соседей. Общества, у которых нет ни одной из перечисленных возможностей, должны исповедовать самый экономный подход и строго регулировать потребление воды, иначе они окажутся во власти голода либо из-за воды разгорится внутренний конфликт\*.

Как и в случае с производством продовольствия, существует много путей к устойчивому использованию воды — не за счет большей добычи и потребления, а благодаря более эффективному использованию имеющихся ресурсов. Вот краткий список таких возможностей\*\*.

- Применять для каждого вида использования воду соответствующего качества. Например, для слива в туалете или полива газонов можно использовать дождевую воду или воду из стоков, а не питьевую.
- Использовать капельное орошение, которое требует воды на 30–70% меньше, а урожай дает на 20–90% больше, чем при традиционном орошении.
- Установить в душе, туалете и посудомоечной машине устройства экономии воды. В США среднестатистическая семья использует в сутки 0,3 кубометра воды на человека. Этот объем можно уменьшить вдвое, если поставить устройства, позволяющие эффективно расходовать воду, — они доступны и технически, и финансово.
- Устранить протечки. Просто диву даешься, как много средств расходуют городские власти, чтобы увеличить подачу воды, вместо того, чтобы за малую часть этих денег устранить протечки и получить в свое распоряжение больше воды. В США примерно четверть (!) перекачиваемой по трубопроводам воды теряется из-за протечек.
- Высаживать растения, соответствующие климату. В пустыне не надо выращивать культуры, требующие большого количества воды — например, люцерну или кукурузу. Садоводам и ландшафтными архитекторами надо использовать местные растения, не требующие полива.

\* Примеры конкретных результатов приводятся в работе: *Falkenmark M. Fresh Waters as a Factor in Strategic Policy and Action // Global Resources and International Conflict / Ed. by Arthur H. Westing. Oxford: Oxford University Press, 1986.*

\*\* Эти примеры и численные показатели взяты из работы: *Postel «Pillar», а также из книги: Hawken P., Lovins A., Lovins H. Natural Capital. New York: Little, Brown, 1999. Глава 11.*

- Использовать воду повторно. Многие виды промышленности (например, в Калифорнии, где воды мало) разработали передовые, эффективные в экономическом отношении технологии сбора, очистки и повторного использования воды.
- Собирать в зонах городской застройки дождевую воду. Цистерна или система сбора воды с крыш позволяет получить в распоряжение много воды и дает результаты не хуже, чем плотина, при этом обходится гораздо дешевле.

Один из лучших способов стимулировать внедрение таких методов — перестать субсидировать потребление воды. Если в стоимости воды будет хотя бы частично отражаться цена ее доставки до потребителя — с финансовой, социальной и экологической точек зрения, то разумное использование воды быстро войдет в привычку. И Денвер, и Нью-Йорк с удивлением обнаружили, что установка в городе счетчиков водопотребления и требование оплаты пропорционально расходу сразу же уменьшают потребление воды семьей на 30–40%.

Существует еще и проблема изменения климата — о ней поговорим чуть позже. Если человечество позволит ей прогрессировать, это повлияет на гидрологический цикл (круговорот воды в природе), изменятся океанские течения, распределение и количество осадков, эффективность плотин, систем орошения и других форм хранения и перераспределения воды. Изменится и стоимость доставки воды по всей планете. Устойчивое использование водных ресурсов невозможно без устойчивого климата, а ведь это неразрывно связано еще и с устойчивостью энергопотребления. Человечество имеет дело с одной чрезвычайно сложной системой, полной взаимосвязей.

## Леса

Существует четкая мировая тенденция к массовому уничтожению лесных территорий... Все направлено на ускорение сведения лесных массивов, уничтожение оставшихся очагов реликтовых лесов, прогрессирующее ухудшение качества остающихся лесных территорий. Большая часть оставшихся лесов истощается во все больших масштабах и находится под угрозой исчезновения.

*Всемирная комиссия  
по лесному хозяйству и устойчивому развитию,  
1999 г.*

Лес — материальный ресурс, но кроме экономической функции он выполняет еще и экологическую. Леса смягчают климат, уменьша-

ют последствия наводнений, защищают территории от засухи. Они смягчают последствия от ливней, создают и удерживают почву на откосах и склонах, предотвращают заиливание рек и морских побережий, оросительных каналов и водохранилищ. Лесные чащи дают приют и поддерживают существование многих форм жизни. Одни только тропические леса, покрывающие всего лишь 7% земной поверхности, служат домом как минимум для 50% видов на планете. Многие из этих видов, от ротанга до съедобных грибов, имеют коммерческое значение и используются в красителях, медицинских препаратах, продуктах питания. Они не могут существовать без соответствующих пород деревьев, к которым привязаны их экологические ниши.

Леса связывают и удерживают большие количества углерода. Это регулирует содержание углекислого газа в атмосфере, ослабляет парниковый эффект и глобальное потепление. Наконец (и это далеко не последнее по важности замечание), леса просто красивы, они служат отличным местом отдыха и умиротворения души человеческой.

До развития сельского хозяйства на Земле было от 6 до 7 млрд га лесов. Сейчас — только 3,9 млрд га, если включить в это количество примерно 0,2 млрд га искусственных лесопосадок. Больше половины утраченных природных лесов были сведены после 1950 г. В период 1990–2000 гг. площадь природных лесных массивов уменьшилась на 160 млн га, что составляет 4% всех лесистых территорий\*. Большинство лесов исчезает в тропиках. Уничтожение лесов средней полосы состоялось задолго до 1990 г. — это произошло в эпоху индустриализации Европы и Северной Америки.

Потеря лесов — очевидный признак неустойчивости, истощения возобновимого ресурса. Но, как это часто бывает, под очевидной общемировой тенденцией кроются большие региональные различия.

Необходимо осознавать принципиальную разницу в двух характеристиках лесов как ресурса: площади и качестве. Существует огромная разница между гектаром девственного леса со столетними

\*

При описании состояния лесов в мире разные авторы приводят сильно различающиеся данные. Так происходит потому, что существуют различные способы определения качества лесных территорий, а также потому, что основная организация, собирающая и представляющая такие данные, — Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН, — изменила используемые ею определения для оценки, проведенной в 2000 г. В этом разделе мы используем новые данные FAO из отчета: Forest Resource Assessment (FRA) (Rome: FAO, 2000), [www.fao.org/forestry/index.jsp](http://www.fao.org/forestry/index.jsp).



деревьями и бывшей вырубкой, на которой ценное с экономической точки зрения дерево появится не раньше, чем через 50 лет, а биологическое разнообразие, свойственное реликтовому лесу, вообще не восстановится никогда. Тем не менее, во многих странах статистика по лесным площадям не отличает один тип леса от другого.

Качество леса гораздо сложнее измерить, чем площадь. Данные, по которым споров меньше всего, основываются на площади лесов соответствующего типа — такова, например, статистика по лесным территориям, на которых рубка не велась никогда (первичные, девственные, реликтовые леса). К сожалению, не вызывает сомнений, что такие ценные леса быстро превращаются в менее качественные.

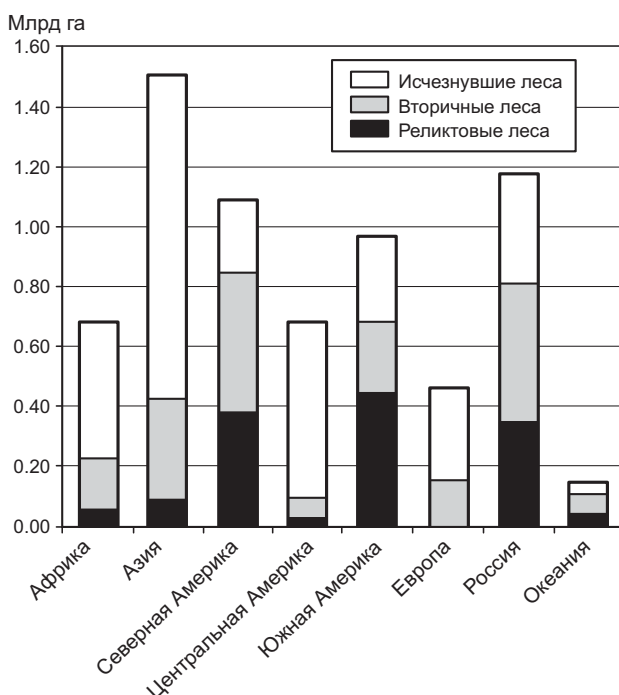
Лишь  $\frac{1}{5}$  часть (1,3 млрд га) исходных лесов Земли сохраняется в виде относительно нетронутых природных массивов\*. Половина этого количества — северные леса в России, Канаде и на Аляске; большая часть остального — влажные тропические леса в Амазонии. Обширные территории прерываются зонами разработки недр, шахтами, сельскохозяйственными полями и другими объектами человеческой деятельности. Только 0,3 млрд га официально находятся под защитой (причем в некоторых случаях эта защита формальна, только на бумаге — на таких территориях часто проводят незаконные рубки и/или уничтожают животный мир).

В США утрачено 95% исходных лесов (исключение составляет только Аляска). В Европе первичных лесных массивов практически не осталось. В Китае сведено  $\frac{3}{4}$  лесов, причем уничтожены практически все реликтовые зоны (рис. 3.7). Вырубленные, но выросшие снова (вторичные) леса умеренного пояса увеличиваются по площади, но большинство из них бедны питательными веществами, им не хватает видового разнообразия, размер деревьев невелик, растут они медленно, качество древесины среднее. Эти территории не управляются устойчивыми методами.

Чуть меньше половины оставшихся природных лесов находятся в средней полосе (1,6 млрд га), остальные — в тропиках (2,1 млрд га). В период 1990–2000 гг. площадь лесных массивов в умеренном поясе уменьшилась незначительно, примерно на 9 млн га, что составляет примерно 0,6% потерь за десятилетие. Половина природных лесов превратилась в интенсивно управляемые лесные фермы, служащие

\* См. работу: Bryant D., Nielsen D., Tangley L. The Last Frontier Forests: Ecosystems and Economies on the Edge. Washington, DC: WRI, 1997. С. 1, 9, 12.





**Рис. 3.7.** Сохранившиеся реликтовые леса

Лишь небольшая доля исходных мировых лесов осталась нетронутой к 1997 г. — это так называемые девственные, реликтовые леса. (Источник: WRI.)

источником бумаги и пиломатериалов. Кроме того, примерно такая же площадь засажена лесом заново.

В то время как леса средней полосы относительно стабильны, площадь джунглей в тропиках стремительно уменьшается. По оценкам FAO, с 1990 по 2000 г. более 150 млн га оставшихся мировых природных тропических лесов (по площади это примерно равно территории Мексики) были расчищены для другого применения. В 1990-е гг. скорость сведения лесов составляла примерно 15 млн га в год, или 7% за десятилетие.

И ведь это официальные цифры! В действительности же никто не знает, насколько быстро уничтожаются тропические леса. Цифры год от года меняются, по ним постоянно возникают споры. Уже сам этот факт — неопределенность скорости истощения ресурса — является одной из структурных причин выхода за пределы.

Первая официальная попытка оценить скорость исчезновения тропических лесов, предпринятая FAO в 1980 г., показала, что в год

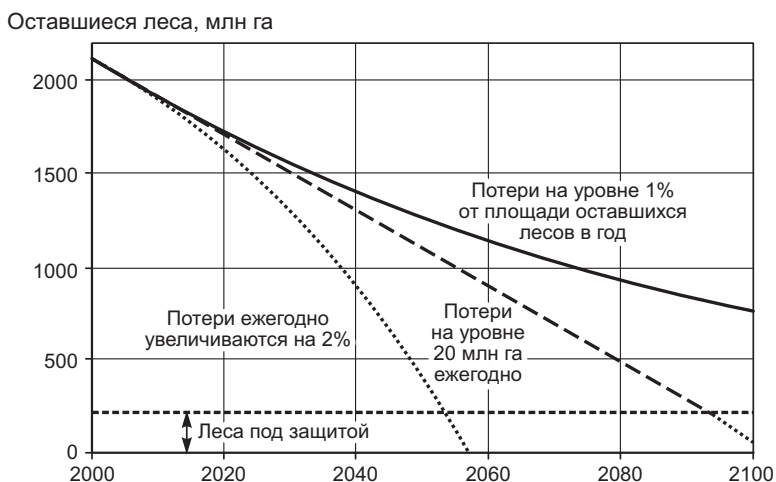
теряется порядка 11,4 млн га лесов. В середине 1980-х гг. оценка скорости возросла до 20 млн га в год. После определенных изменений в политике (особенно в Бразилии) скорость сведения лесов к 1990 г. уменьшилась примерно до 14 млн га в год. Согласно новой оценке ФАО, проведенной в 1999 г., теперь в год исчезает около 11,3 млн га леса, преимущественно тропического. И, как уже упоминалось ранее, к концу десятилетия появилась средняя оценка за десятилетие на уровне примерно 15,2 млн га в год.

В эту цифру включены только те территории, которые навсегда переходят в другую форму землепользования — в основном это сельское хозяйство и пастбища, затем в списке идут прокладка дорог и застройка. В оценку *не включена заготовка леса*, поскольку даже тот лес, в котором шла вырубка, продолжает считаться лесом. И эта цифра совершенно не учитывает лесные пожары, уничтожившие порядка 2 млн га в Бразилии, 2 млн га в Индонезии, 1,5 млн га в Мексике и Центральной Америке только за 1997–1998 гг. Если учесть скорость, с которой джунгли превращаются в безлесные участки, суммарное количество потерь наверняка превысит 15 млн га в год и может составить 1% от всех лесных площадей в год.

Несмотря на оценочный характер данных, их вполне можно использовать для того, чтобы определить общие перспективы существования естественных тропических лесов, если, конечно, существующие тенденции не изменятся. Графики на рис. 3.8 начинаются с приблизительной площади тропических лесов по состоянию на 2000 г. — около 2,1 млрд га. Мы исходим из скорости исчезновения лесов в 20 млн га в год. Величина больше, чем оценка ФАО, чтобы отразить в ней потери от пожаров, неустойчивых рубок, а также компенсировать известную привычку политиков занижать потери. Горизонтальная пунктирная линия на графике отображает предел исчезновения лесов, если 10% от пока существующих джунглей сохранятся под защитой. Это примерно соответствует доле тропических лесов, которые на сегодня находятся под той или иной формой государственной защиты\*.

Если *сведение лесов будет идти постоянно со скоростью 20 млн га в год*, то незащищенные первичные леса полностью исчез-

\* Оценка взята из материалов центра наблюдения UNEP World Conservation Monitoring Center в Великобритании ([www.unep-wcmc.org/forest/world](http://www.unep-wcmc.org/forest/world)) и включает леса, относимые к категориям охраны IUCN Conservation Categories I–VI. Проводимая оценка является среднемировой. Защищаемые территории в тропической (южные леса) и умеренной зонах (северные леса) примерно одинаковы. Измеряемые как доли площади исходных лесов (покрывавших планету до того, как человек начал массовые рубки), эти значения должны быть уменьшены в 2 раза.



**Рис. 3.8.** Возможные варианты исчезновения тропических лесов

Оценка будущих потерь тропических лесов зависит от предположений о демографических показателях, о состоянии законодательства и экономики. На графике показаны три варианта развития событий. Если потери, начиная с уровня в 20 млн га в год (характерного для 1990-х гг.), продолжат ежегодно увеличиваться на 2%, то с лесами, не находящимися под защитой, будет покончено к 2054 г. Если скорость сведения лесов будет постоянной на уровне 20 млн га в год, то незащищенные леса исчезнут к 2094 г. Если потери составят 1% в год от оставшихся территорий незащищенных лесов, то леса будут уменьшаться по площади вдвое каждые 72 года.

нут за 95 лет. Этот график отображен на рис. 3.8 крупной пунктирной линией. Он описывает развитие событий при условии, что разрушение лесов в течение всего века не ускорится и не замедлится.

Если *скорость исчезновения лесов будет расти экспоненциально*, например, как скорость роста численности населения в тропических странах (около 2% в год), то незащищенные леса полностью исчезнут через 50 лет. Этот график показывает, что произойдет, если сочетание роста численности населения и потребления продукции лесной промышленности вызовет экспоненциальное увеличение потерь лесов.

Если *скорость исчезновения лесов будет составлять постоянный процент от площади оставшихся лесов* (например, 1% в год), то график будет слегка замедлять снижение от года к году, поскольку остающихся площадей с каждым годом будет все меньше. В этом случае каждые 72 года будет исчезать половина еще существующих джунглей. Этот график отображает предположение о том, что вырубка всех близкорасположенных, самых ценных лесов, будет осложнять и тем самым уменьшать последующие рубки.

Реальное будущее, возможно, задействует все три варианта в разных частях земного шара. Поскольку рост численности населения и экономики увеличивает спрос на продукцию лесной промышленности, и одновременно с этим нужно расчищать все больше земель под другие цели, вырубки будут проводиться во все более удаленных местах, и древесина будет уже не столь высокого качества. Такая деятельность будет обходиться все дороже. Одновременно стоит ожидать, что усилия экологов и политическое давление приведут к тому, что оставшиеся леса будут взяты под защиту, а производство древесины станет все больше опираться на высокопродуктивные лесные плантации. Хотя эти тенденции уравнивают друг друга, тем не менее, итоговый вывод остается один и тот же: современный поток продукции, получаемой от первичных тропических лесов (которые были рождены планетой, выросли без затрат со стороны человека, в которых деревья велики, а древесина отличается высоким качеством), устойчивым не является.

Почвы, климат и экосистемы в тропиках очень отличаются от систем в средней полосе. В них богаче биоразнообразие, тропические леса быстрее растут, но они и более уязвимы. Неизвестно, могут ли они восстанавливаться полностью, без серьезного ущерба для почвы и экосистем даже после однократной сплошной вырубки или пожара. Хотя сейчас и проводятся эксперименты по поиску метода вырубки, приемлемого для тропических лесов (выборочной рубки или чересполосной, чтобы облегчить восстановление), тем не менее повсеместное сведение тропических лесов и особенно самых ценных пород деревьев ведется так, словно это невозобновимый ресурс\*.

Причины уничтожения тропических лесов могут быть разными в зависимости от страны. Один из мотивов — желание компаний, производящих бумагу и пиломатериалы, повысить продажи; другой — попытки правительства увеличить экспорт древесины, чтобы расплатиться с внешними долгами; третий — потребности фермеров и владельцев ранчо за счет лесов получить больше земли для ведения сельского хозяйства или под пастбища. Те, у кого нет земли вообще, рубят лес на дрова или в надежде расчистить себе место под посевы. Подобные факторы часто выступают вместе, единым фронтом, при этом правительства поощряют компании вести вырубки, а бедняков — переселяться на отвоеванные у леса земли.

Существует еще одна причина неустойчивого лесопользования как в средней полосе, так и в тропиках. В мире, где высококачест-

---

\* Обратитесь к материалам: *Johnson N., Cabarle B. Surviving the Cut: Natural Forest Management in the Humid Tropics*. Washington, DC: WRI, 1993.

венная древесина исчезает, даже одно большое старое дерево может стоить от 10 тыс. долларов и больше. Это большое искушение. Порой леса, находящиеся в общественной собственности, передаются в пользование частному лицу буквально даром. Лес тайком распродается, при этом ведется черная бухгалтерия; ордера на древесные породы, количества и площади вырубок подделываются; закон смотрит на это сквозь пальцы; дельцы идут на сговор; господствует практика дачи взяток и откатов — и происходит это далеко не только в тропиках.

---

«Комиссия обнаружила, что самая частая проблема в лесной промышленности — вопиющая проблема, которой, тем не менее, уделяется крайне мало внимания, — это коррупция»\*.

---

Даже в тех зонах джунглей, которые взяты под охрану, где должно быть меньше всего коррупции, лес все равно исчезает, но неизвестно, какими темпами. В предыдущем издании нашей книги, вышедшей в 1992 г. («За пределами роста»), мы показали на карте потери леса в одной маленькой стране — Коста-Рике. В надежде обновить данные мы обратились в Исследовательский центр устойчивого развития в Университете Коста-Рики, но в ответ услышали, что действительно, те данные следует обновить, но для этого все ждут, когда будут разработаны более точные методы измерения.

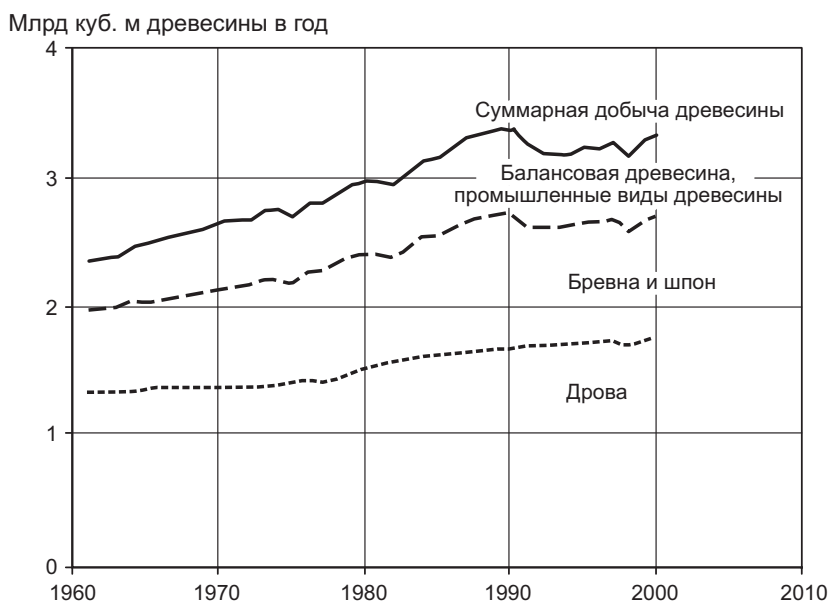
Увеличение спроса на продукцию лесной промышленности только осложняет проблему исчезновения лесов. В период 1950–1996 гг. мировое потребление бумаги выросло в 6 раз. Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН предполагает, что к 2010 г. потребление вырастет с 280 до 400 млн т\*\*. В США среднестатистический гражданин расходует 330 кг бумаги в год. В других развитых странах средний расход на душу населения составляет только 160 кг, а в развивающихся странах — всего 17 кг. Хотя вторичная переработка бумаги и расширяется, тем не менее, рубка девственного леса на целлюлозу растет на 1–2% в год.

Суммарное потребление древесины на все цели — производство стройматериалов, бумаги, даже на дрова — растет год от года, хотя скорость роста и замедляется (рис. 3.9). Одна из причин замедления роста в 1990-е гг. — экономические проблемы, волной прока-

---

\* Цитируется по: WCFSD, Our Forests. С. 48.

\*\* По данным: FAO, Provisional Outlook for Global Forest Products Consumption, Production, and Trade to 2010. Rome: FAO, 1997.



**Рис. 3.9.** Использование древесины в мире

Потребление древесины в мире растет, хотя и с уменьшающейся скоростью. Примерно половина добываемой древесины расходуется на дрова. (Источник: FAO.)

тившиеся по Азии и России. Снижение потребления круглого лесоматериала может оказаться временным. Если бы каждый человек в мире расходовал древесину в таких же количествах, что и жители промышленно развитых стран, то суммарное потребление выросло бы более чем вдвое\*.

Тем не менее существуют способы снижения потребления древесины — например, развитие вторичной переработки и более эффективное использование лесоматериалов. Если эти направления будут развиваться, мир с легкостью сможет удовлетворять свои потребности в древесине при гораздо меньшем воздействии на леса. Приведем примеры.

- *Повторное использование бумаги.* Примерно половина бумаги, производимой в США, изготавливается из вторичного сырья; в Японии этот показатель превышает 50%, а в Голландии — 96%. В среднем по миру 41% бумаги и картона идет на переработку\*\*.

\* См. статью: Abramovitz J. N., Mattoon A. T. Reorienting the Forest Products Economy // Brown et al. State of the World 1999. С. 73.

\*\* См. сборник: Brown et al. State of the World 1999. С. 65.

Если весь мир последует примеру Голландии, процент переработки бумаги вырастет более чем вдвое.

- *Эффективность лесопильного оборудования.* Современные лесопильные агрегаты примерно 40–50% необработанного лесоматериала превращают в целевой продукт, а остальное идет на дрова, изготовление бумаги, древесно-стружечных и древесноволокнистых плит (ДСП и ДВП). Менее эффективное оборудование, особенно в развивающихся странах, позволяет использовать только 25–30% необработанного лесоматериала. Если устаревшее оборудование модернизировать, из каждого срубленного дерева можно будет изготовить вдвое больше продукции\*.
- *Более эффективное использование топлива.* Более половины срубленной древесины в бедных районах идет на приготовление пищи, обогрев и мелкое производство (изготовление кирпичей, пивоварение, сушка табака и т. п.), причем дрова сгорают в крайне неэффективных печах или просто кострах. Более эффективные печи или альтернативные виды топлива позволят удовлетворить потребности человека, при этом воздействие на леса, загрязнение воздуха и трудозатраты на добывание дров будут гораздо меньше.
- *Эффективное использование бумаги.* Половина производимых в мире бумаги и картона используется на упаковку и рекламу. Среднестатистическая семья в США получает примерно 550 рекламных писем в год — это макулатурная почта, вещественный аналог спама. Большинство из них выбрасывают не читая. Несмотря на эпоху электронных средств (а может, как раз из-за них) потребление бумаги на единицу капитала в США с 1965 по 1995 г. удвоилось. От избыточной упаковки и расходов бумаги на макулатурную почту можно избавиться; даже принтеры и факсы, печатающие только на одной стороне листа (да и другие расточительные технологии), можно усовершенствовать.
- *Полная стоимость лесных материалов и их производных.* Можно перестать выдавать лесной промышленности прямые и косвенные правительственные субсидии, отразить действительную ценность леса в налогах на заготовку леса на корню, и тогда цены на продукцию лесной промышленности приблизятся к реальности.

Передовые технологии, применяемые в промышленно развитых странах, позволят как минимум вдвое уменьшить вырубку лесов по

\* См.: Abramovitz and Mattoon. Forest Products. С. 64.

миру; заодно уменьшится и поток отходов на выходе. При этом качество жизни изменится незначительно или не изменится вовсе.

Кроме того, ту же самую продукцию, что и сейчас, можно производить с гораздо меньшим вредом для окружающей среды. Вместо сплошной вырубki, особенно на склонах, надо проводить выборочную либо чересполосную рубку. Полосы с невырубленными деревьями вдоль рек уменьшают эрозию и защитят водные экосистемы от опасных для них солнечных лучей. Некоторые сухие и упавшие деревья следует оставлять, так как они служат экологическими нишами для живых организмов.

Сейчас растет и ширится движение за «зеленую сертификацию», которая позволяет потребителям отличать лесную продукцию, полученную с помощью лесосберегающих технологий и правильных методов лесопользования, от обычной. К концу 2002 г. Совет по лесному контролю, международная некоммерческая организация, сертифицировал более 30 млн га как «устойчиво используемые леса». Хотя это и немного, такие участки неуклонно расширяются, доказывая действенность рынка, в данном случае — влияние потребительского спроса на сертифицированную древесину.

Высокопродуктивные лесные плантации можно распространить на уже вырубленные территории или земли, находящиеся в пограничном состоянии. Древесные плантации могут давать поразительно много древесины с гектара, одновременно выводя из-под удара естественные лесные массивы.

Можно привести весьма показательный пример. Высокопродуктивная тропическая лесная плантация может дать в среднем 100 куб. м древесины с гектара в год. Это более чем в 40 раз превышает среднюю скорость роста лесов умеренного пояса, который позволяет получить только около 2,5 куб. м древесины с гектара в год. При повсеместном использовании плантаций под них достаточно отвести всего 34 млн га (что эквивалентно площади Малайзии), чтобы обеспечить всю современную мировую потребность в целлюлозе, пиломатериалах и дровах. И даже если продуктивность будет вдвое меньше, всего 50 куб. м с гектара в год, для удовлетворения всей мировой потребности понадобится территория в 68 млн га (площадь Сомали). Чтобы устойчиво поддерживать такую высокую продуктивность тропических плантаций, в лесном хозяйстве потребуется применять больше «органических» методов: смешение или ротацию пород, использование натуральных удобрений и способов борьбы с вредителями, не таких разрушительных, как традиционные методы.

Существует много способов вернуть скорости потребления лесной продукции в устойчивые рамки. Все они реализуемы на практике.



Каждый из них где-то в мире уже используется, но необходимо распространить их повсеместно. А леса между тем продолжают исчезать.

«Хотя в последние годы мировое общество проявляет все большую обеспокоенность по поводу исчезновения лесов, тем не менее, это не привело к сколько-нибудь заметному замедлению в скорости сведения лесов»\*.

### Функции экосистем и биологические виды

Индекс живой планеты (Living Planet Index, LPI) — это показатель состояния мировой природной системы. Он... учитывает распространенность лесов, доступность пресной воды, изобилие морских видов. Этот индекс показывает общее ухудшение состояния системы на 37% в период с 1970 по 2000 г.

*Всемирный фонд дикой природы, 2002 г.*

Почвы, воды и леса — очевидные источники, от которых зависят потоки, поддерживающие жизнь и экономику человечества. Существует и другой набор источников, столь же важный, но менее очевидный, поскольку экономика человечества никогда не придавала ему значимости в денежном выражении. Это некоммерческие, не имеющие рыночной ценности биологические виды, экосистемы, которые они образуют, и поддерживающие функции, которые они выполняют, собирая, перемещая и перерабатывая энергию и материальные потоки, необходимые для поддержания жизни.

Сегодня ключевым понятием стали *функции экосистем*, своего рода «*экологическое обслуживание*» — неоценимый вклад биотических источников в нашу жизнь. Эти функции включают:

- очищение воздуха и воды;
- поглощение и накопление воды, смягчение засух и наводнений;
- разложение, нейтрализацию и связывание отходов;
- восстановление в почве питательных веществ, нарастание почвенного слоя;
- опыление;
- борьбу с сельскохозяйственными вредителями;
- разброс семян и распределение питательных веществ;

\*

См. отчет: World Resources 1998–99: Environmental change and human health. Washington, DC, World Resources Institute, 1998.

- ослабление ветров и смягчение температурных скачков, частичную стабилизацию климата;
- обеспечение широкого разнообразия сельскохозяйственной, медицинской и промышленной продукции;
- эволюцию и поддержание биотического генофонда и биоразнообразия, которое выполняет перечисленные выше задачи;
- уроки выживания, устойчивости к внешним воздействиям, эволюции и достижения разнообразия, которые обеспечили существование экосистем на протяжении трех с лишним миллиардов лет;
- придание огромного эстетического, духовного и интеллектуального значения\*.

Хотя ценность всех этих факторов измерить невозможно, люди все равно пытаются все перевести в цифры. При этом все попытки оценить значение природных ресурсов в деньгах приводят к цифрам порядка триллионов долларов в год, что многократно превышает денежное выражение годового оборота экономики человечества\*\*.

По оценкам Всемирного фонда дикой природы (WWF), за последние 30 лет мир утратил значительную часть функций экосистем. Это по-прежнему очень сложно оценить количественно. Самый распространенный (хотя и не самый показательный) метод состоит в том, чтобы оценить количество биологических видов и скорость их исчезновения.

Как ни странно, сделать это с достаточной точностью невозможно. Ученые не знают, сколько всего видов на планете на самом деле. Количество оценивается только с точностью до порядка: где-то от 3 до 30 млн видов\*\*\*. Лишь около 1,5 млн из них описаны и классифицированы. И это те виды, которые имеют большие размеры и легко заметны: зеленые растения, млекопитающие, птицы, рептилии... Гораздо меньше науке известно о миллионах насекомых и еще меньше о микроорганизмах.

\* Список адаптирован и доработан; источник: *Daily G. C. (ed.). Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington, DC: Island Press, 1997. С. 3–4.*

\*\* См. работу: *Costanza R. et al. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital // Nature. 1997. 387. С. 253–260.* Роберт Костанца с коллегами оценили (и эта оценка носит умеренный характер) объемы «экологического обслуживания», предоставляемого природой, на уровне 33 трлн долларов в год, в то время как суммарный продукт мировой экономики оценивается на уровне 18 трлн долларов в год.

\*\*\* См.: *May R. M. How Many Species Inhabit the Earth? // Scientific American. 1992. October. С. 42.*

Поскольку никто точно не знает, сколько всего на планете видов, никто не может сказать, сколько их потеряно. Нет сомнений лишь в том, что это количество быстро увеличивается. Многие биологи открыто говорят, что массовое исчезновение идет полным ходом\*. Экологи заявляют, что такой волны исчезновения не было со времен вымирания динозавров в конце мелового периода 65 млн лет назад.

К такому заключению они приходят прежде всего из-за скорости, с которой исчезают экологические ниши. Например:

- Мадагаскар — настоящая биологическая сокровищница. В его восточных лесах встречается 12 000 изученных видов растений и 190 000 изученных видов животных. Как минимум 60% из них — эндемики, т. е. нигде больше на Земле не встречаются. Более 90% лесов Мадагаскара вырубili, чтобы расчистить место для сельского хозяйства;
- в Западном Эквадоре раньше насчитывалось от 8000 до 10 000 растений, половина из них — эндемики. Каждый растительный вид поддерживал от 10 до 30 животных видов. С 1960 г. практически все западные леса Эквадора превратились в банановые плантации, а также дали место застройке и нефтяным вышкам.

Нетрудно догадаться, что большинство видов исчезает в тех местах, где их было больше всего. В основном это тропические леса, коралловые рифы и болота. Как минимум 30% коралловых рифов на планете находятся в ужасающем состоянии, 95% из них в ходе всемирного исследования в 1997 г. страдали от деградации и исчезновения видов\*\*. Болота находятся в еще большей опасности. Для них характерна высокая биологическая активность, включая размножение многих видов рыб. Лишь 6% земной поверхности занято болотами — вернее, *было* занято. Примерно половину болот осушили, засыпали, углубили или превратили в каналы. И никто не считал, сколько болот пострадало от загрязнения.

Оценка общемирового исчезновения видов начинается с подсчета ареалов обитания, что можно сделать достаточно точно. Затем делается предположение о том, сколько видов могло существовать в утерянном ареале, и вот это предположение уже грешит неопределенностью. Затем делается предположение о взаимосвязи между потерей

\* См.: Warrick J. Mass Extinction Underway, Majority of Biologists Say // Washington Post. 1998. April 21. С. А4.

\*\* Hinrichson D. Coral-Reefs in Crisis // Bioscience. 1997. October.

мест обитания и исчезновением видов. Существует эмпирическое правило: 50% видов сохраняется даже в том случае, если разрушено 90% ареала.

Такие подсчеты требуют детального подтверждения\*. Но мы поступаем с ними так же, как и с другими численными данными в этой главе: важно уловить общую тенденцию. Крупные животные изучены сравнительно хорошо, и специалисты дают довольно точную оценку: примерно 24% из 4700 видов млекопитающих, примерно 30% из 25 000 видов рыб и примерно 12% из почти 10 000 видов птиц находятся под угрозой исчезновения\*\*. Примерно то же происходит с 34 000 из 270 000 известных видов растений\*\*\*. Оцениваемая скорость исчезновения сейчас в 1000 раз выше, чем была бы без влияния человека\*\*\*\*.

Подсчет потерь видов нельзя использовать для оценки устойчивости биосферы, поскольку никто не знает, где находится предел. Сколько видов (и какие из них) могут исчезнуть из системы, чтобы это не привело к ее разрушению? Можно привести аналогию с самолетом и заклепками: представьте себе, что вы вынимаете их одну за другой, чтобы посмотреть, в какую секунду самолет начнет падать. В какой момент это произойдет? А ведь в самолете все заклепки отдельные, они не связаны друг с другом. В экосистеме же виды взаимосвязаны. Если один вид исчезнет, это может вызвать цепную реакцию...

Сознавая, как сложно измерить скорость исчезновения видов на планете, Всемирный фонд дикой природы в индексе живой планеты (LPI) использовал другой метод, чтобы оценить уменьшение биологического разнообразия. Вместо подсчета количества исчезнувших видов Фонд отслеживает численность популяций большого количества существующих видов. Полученные данные затем усредняют, чтобы получить количественную оценку по изменению численности популяции во времени для так называемых «типичных» видов. С помощью такого метода Фонду удалось установить, что популяция «среднестатистического» вида с 1970 г. снизилась больше, чем на

---

\* См., например, статью: Extinction: Are Ecologists Crying Wolf? // Science. 1991. 253, August 16. С. 736, а также другие материалы по той же теме, выражающие серьезную обеспокоенность экологов.

\*\* См. исследование: Species Survival Commission, 2000 IUCN Red List of Threatened Species. Gland, Switzerland: International Union for the Conservation of Nature, 2000; данные приведены по изданию: Brown. Water Deficits. С. 69.

\*\*\* См. работы: Holden C. Red Alert for Plants // Science. 1998. 280, April 17. С. 385.

\*\*\*\* См.: SSC, IUCN Red List. С. 1.

треть\*. Другими словами, количество животных и растений явно уменьшилось. Это подтверждает, что функции экосистем используются неустойчиво. В «Предостережении человечеству от ученых мира», которое в 1992 г. подписали более 1600 ведущих ученых, включая 102 Нобелевских лауреата, это прозвучало со всей четкостью:

---

«Наше массированное вмешательство в природу со всеми ее взаимосвязями, в сочетании с вредом, наносимым окружающей среде за счет сведения лесов, исчезновения видов и изменения климата, может вызвать цепь негативных последствий по всему миру, включая непредсказуемое разрушение ключевых биологических систем, строение и динамику которых мы едва понимаем. Незнание масштабов этих явлений ни в коем случае не извиняет нашей самоуспокоенности и промедления в признании опасности»\*\*.

---

## Невозобновимые ресурсы

### Ископаемые виды топлива

Анализ запасов ископаемого топлива и темпов разведки новых месторождений по всему миру показывает, что в течение ближайших 10 лет добыча природной нефти не будет покрывать потребностей в ней... Разведка новых нефтяных залежей по всему миру достигла максимума в 1960-е гг., с тех пор она дает все меньше результатов... Количество нефти в мире ограничено, и нефтяная промышленность уже обнаружила 90% всех мировых запасов.

*Колин Дж. Кемпбелл и Джин Х. Лагеррер, 1998 г.*

В настоящее время человек совсем не беспокоится о доступности нефти в ближайшем будущем... Мировые запасы нефти не бесконечны, добыча в какой-то момент достигнет пика, а затем начнет снижаться...

Принято считать, что мировое производство нефти не достигнет максимума еще 10 или 20 лет, примерно до 2010–2025 гг.

*Мировые ресурсы, 1997 г.*

Оценки оптимистов и пессимистов различаются всего на пару десятилетий, одни ожидают наступление максимума производства поз-

---

\* См. отчет: WWF, Living Planet Report 2002.

\*\* См. обращение ученых: «World Scientists' Warning to Humanity», December 1992. Большинство лауреатов Нобелевской премии, находившихся в добром здравии в 1992 г., сочли своим долгом присоединиться к «Предостережению». Оригинальный текст доступен в объединении ученых: Union of Concerned Scientists, 26 Church Street, Cambridge, MA 02238.

же, другие раньше. Но все сходится во мнении, что нефть — самый ограниченный из ключевых видов ископаемого топлива и что максимум будет достигнут в первой половине текущего столетия. Экономика человечества с каждым годом расходует на 3,5% больше энергии — эта тенденция четко прослеживается с 1950 по 2000 г. Мировое потребление энергии иногда дает скачки и флуктуации, но тому есть причины: войны, спад производства, непостоянство цен, технические изменения в отрасли (рис. 3.10). Большая часть этой энергии используется в промышленно развитом мире. Среднестатистический житель Западной Европы расходует в 5,5 раз больше коммерческой энергии\*, чем среднестатистический африканец, а североамериканец использует в 9 раз больше энергии, чем индус\*\*. И ведь речь идет о коммерческой энергии! Многие жители мира обходятся вообще без нее...

---

«Более четверти населения земного шара не имеет возможности пользоваться электричеством,  $\frac{2}{5}$  зависят от традиционных источников энергии на основе биомассы. Хотя количество людей, не использующих электричество, в ближайшие десятилетия уменьшится, тем не менее, ожидается, что 1,4 млрд человек даже в 2030 г. по-прежнему не будут иметь доступа к электроэнергии. При этом численность населения, использующего для обогрева и приготовления пищи дрова, сухие стебли сельскохозяйственных растений и кизяк, только вырастет»\*\*\*.

---

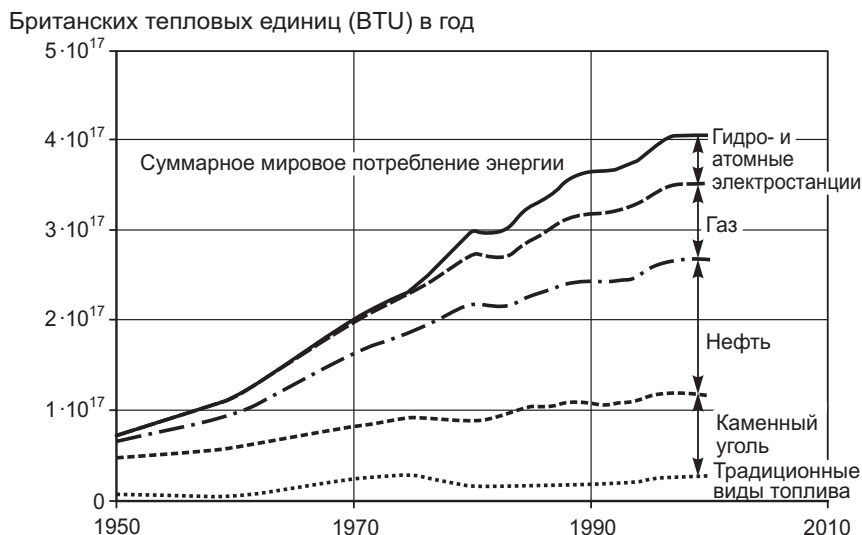
Большинство специалистов в области энергетики ожидают, что мировое потребление энергии будет продолжать расти. Базовый сценарий, рассчитанный Международным агентством по энергетике (International Energy Agency, IEA) в прогнозе развития мировой

---

\* Под *коммерческой энергией* понимается энергия, доступная для приобретения на рынке. В этот разряд не попадает энергия, которая получена локально за счет сжигания дров, кизяка и других видов биомассы. *Некоммерческие источники энергии*, как правило, возобновимы, хотя это не означает, что их используют устойчиво. По оценкам, они составляют порядка 7% от совокупного потребления энергии. *Источник*: WRI, World Resources 1998–99. С. 332.

\*\* См. обзор: U.S. Energy Information Administration, International Energy Outlook 2003, table A1, «World Total Energy Consumption by Region, Reference Case, 1990–2025 (Quadrillion BTU)», [www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/](http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/)

\*\*\* См. обзор: International Energy Agency, World Energy Outlook 2002. Vienna: IEA, 2002. [www.worldenergyoutlook.org/weo/pubs/weo2002/weo2002.asp](http://www.worldenergyoutlook.org/weo/pubs/weo2002/weo2002.asp). Долгосрочные сценарии можно найти в материалах: World Energy Council, «Global Energy Scenarios to 2050 and Beyond», 1999, [www.worldenergy.org/wec-geis/edc/](http://www.worldenergy.org/wec-geis/edc/)



**Рис. 3.10.** Использование энергии в мире

В период 1950–2000 гг. мировое потребление энергии удваивалось трижды. В качестве основных источников энергии по-прежнему используются ископаемые виды топлива: максимум в добыче каменного угля был достигнут примерно в 1920 г. (в то время более 70% потребления топлива приходилось на уголь); добыча нефти достигла пика в 1980-е гг., составляя примерно 40% используемого топлива. Природный газ, загрязняющий окружающую среду меньше, чем уголь и нефть, в будущем станет более популярным источником энергии. (Источники: UN; U.S. DoE.)

энергетики *World Energy Outlook 2002*, процитированном выше, предполагает в период с 2000 по 2030 г. рост потребления энергии от первичных источников на  $\frac{2}{3}$ . И даже альтернативный сценарий, проявляющий больше заботы об окружающей среде, предусматривает рост потребления энергии в мире в ближайшие 30 лет более чем на 50%. Подробный анализ, выполненный Датским агентством по энергетике, показывает, что для обеспечения 9,3 млрд человек (а именно такой может быть численность населения мира в 2050 г.) энергией, достаточной для удовлетворения основных потребностей, потребуется вырабатывать в 6 раз больше энергии, чем в 2000 г. (оценивалась энергия, потребленная конечными пользователями)\*.

\*

См.: Sørensen B. Long-Term Scenarios for Global Energy Demand and Supply. Energy & Environment Group, Roskilde University, January 1999.

Более 80% коммерческой энергии, использованной в 2000 г., приходилось на невозобновимые ископаемые виды топлива: нефть, природный газ и каменный уголь. Подземные запасы этих полезных ископаемых неумолимо истощаются. Чтобы определить, есть ли проблемы с неустойчивостью источников (к проблемам стоков мы перейдем позже), необходимо проверить скорость, с которой истощаются эти ресурсы и с которой им можно найти равнозначную замену среди возобновимых ресурсов.

В этой области царит полное замешательство, даже насчет того, будут ли когда-либо эти невозобновимые ресурсы израсходованы полностью. Недопонимание возникает потому, что внимание акцентируется не на том понятии, на котором нужно. Термин «ресурс» используется для описания суммарного количества определенного вещества в земной коре, в то время как «запас» включает в себя разведанное или предполагаемое количество вещества, которое потенциально можно извлечь и использовать по приемлемой цене, применяя соответствующие технологии. Ресурс неизбежно уменьшается, в то время как запасы некоторое время могут увеличиваться, если геологическая разведка находит новые месторождения, если растут цены на полезные ископаемые, если улучшаются технологии. Сложилась порочная практика делать заявления насчет ресурсов, основываясь при этом на данных по запасам.

В период 1970–2000 гг. мировая экономика сожгла в топках 700 млрд баррелей нефти, 87 млрд т каменного угля и более 50 трлн кубометров природного газа. За те же 30 лет были обнаружены новые месторождения нефти, угля и газа, а также уточнились оценки объемов некоторых старых месторождений, и оказалось, что они больше, чем ожидалось. В результате отношение известных запасов к производству\* (т. е. количество лет, на которое этих запасов хватит, если объемы добычи останутся теми же) в настоящее время растет, как показано в табл. 3.1.

\* *Производство* — не вполне корректное название для добычи ископаемого топлива из недр земли, оно вводит в заблуждение. Производит это топливо природа, и процесс занимает миллионы лет. Люди не производят топливо, а лишь добывают его либо в шахтах, либо поверхностным способом — выкачивают, собирают и т. д. Поэтому, хотя название *производство* широко используется в мире, мы предпочитаем называть это *добычей*, особенно если речь идет об отношении запасов к скорости добычи.



Таблица 3.1

**Годовое производство нефти, газа и каменного угля, а также отношение запас/добыча и ожидаемое время существования ресурса**

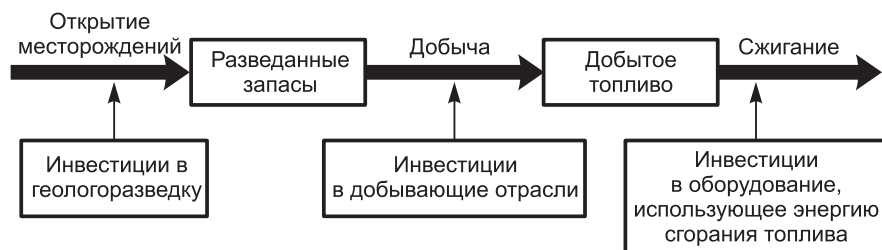
| Виды топлива | 1970 г., годовая добыча | 1970 г., отношение запас/добыча | 2000 г., годовая добыча | 2000 г., отношение запас/добыча | Ожидаемый срок жизни ресурса |
|--------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| Нефть        | 17 млрд баррелей        | 32 года                         | 28 млрд баррелей        | 37 лет                          | 50–80 лет                    |
| Газ          | 1,1 трлн куб. м         | 39 лет                          | 2,5 трлн куб. м         | 65 лет                          | 160–310 лет                  |
| Уголь        | 2,2 млрд т              | 2300 лет                        | 5,0 млрд т              | 217 лет                         | Очень долго                  |

Оценки ресурсов основаны на сумме разведанных запасов и тех запасов, которые еще только предполагается обнаружить. Ресурс, деленный на объем добычи в 2000 г., позволяет оценить ожидаемый срок жизни (существования) ресурса. Значения запасов каменного угля в 1970 г. и 2000 г. сравнивать нельзя, так как тогда использовались разные определения запасов. Уголь был и остается самым распространенным типом ископаемого топлива. (Источники: U.S. Bureau of Mines; U.S. DoE.)

Такое увеличение отношения запаса к добыче произошло, несмотря на то, что существенно выросло потребление газа (с 1970 по 2000 г. примерно на 130%), нефти (примерно на 60%) и каменного угля (примерно на 145%). Но означает ли это, что в 2000 г. под землей оказалось больше полезных ископаемых, чем было в 1970 г.?

Разумеется, нет! За три десятилетия эксплуатации месторождений в них стало меньше нефти на 700 млрд баррелей, угля на 87 млрд т, природного газа на 50 трлн куб. м. Ископаемые виды топлива невозобновимы. Их сжигают, они превращаются в углекислый газ, воду, диоксид серы и ряд сопутствующих соединений, которые никогда (как минимум, по человеческим меркам времени) не превратятся снова в запасы ископаемых видов топлива. Мало того, эти соединения выступают еще и в качестве загрязнителей, которые переполняют глобальные стоки.

Те, кто полагает, что разведка новых месторождений за последние 30 лет означает, что пределов ископаемому топливу нет, видят только часть энергетической системы (схема 6).



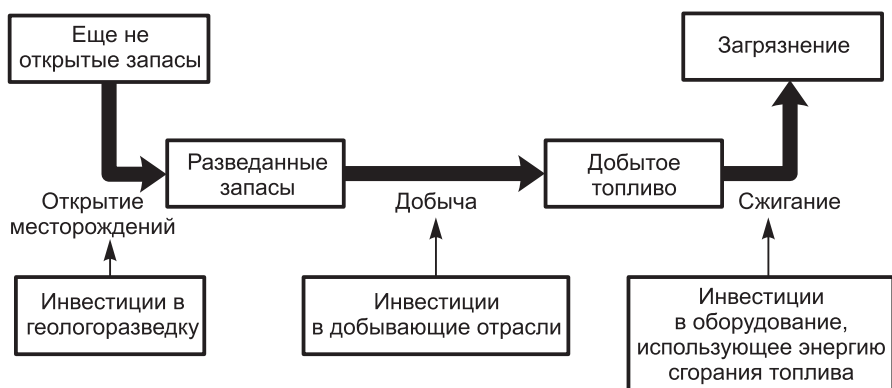
**Схема 6.** От разведанных запасов к добытому топливу

Чтобы *открыть новые месторождения*, необходимы *инвестиции в геологическую разведку* (бурение скважин, разведка с воздуха и из космоса, глубинное зондирование и взятие проб). Так обнаруживаются новые залежи полезных ископаемых, что увеличивает *разведанные запасы*: они уже определены, но ископаемое топливо еще не добыто. Процесс *добычи* позволяет извлечь запасы из-под земли; на это идут *инвестиции в добывающие отрасли* (вложение средств в шахты, вышки и скважины для выкачивания нефти, нефтеперерабатывающее оборудование и магистрали для транспортировки), и в результате добытое топливо доставляется к месту хранения. Затем *инвестиции в оборудование, использующее энергию сгорания топлива* (котлы, автомобили, электрогенераторы), позволяют *сжечь* добытое топливо и получить полезную энергию\*.

До тех пор пока скорость разведки новых месторождений превышает скорость добычи, объем разведанных запасов растет. Но приведенная ранее диаграмма показывает только часть системы. Дополненная схема должна включать расположенные в начале и конце цепи источники и стоки для ископаемых видов топлива (схема 7).

Поскольку *добыча* приводит к уменьшению объемов *разведанных запасов*, человечеству приходится вкладывать средства в разведку новых месторождений. Однако возможности открыть новое месторождение ограничены, ведь суммарные количества ископаемого топлива на планете конечны, они не возобновляются. Объем еще *не открытых запасов* может быть огромным, но он все равно не бесконечен и все равно не возобновляется.

\* Разумеется, капитальное оборудование, с помощью которого производятся разведка, добыча, выкачивание, транспортировка и переработка нефти, тоже расходует (сжигает) ископаемые виды топлива. Если бы других пределов не существовало, единственным ограничением в использовании ископаемого топлива был бы расход энергии на его добычу: когда расход на добычу топлива сравняется с энергией, содержащейся в самом топливе, добыча станет бессмысленной. См. источник: Hall C. A. S., Cleveland C. J. Petroleum Drilling and Production in the United States: Yield per Effort and Net Energy Analysis // Science. 1981. 211, February 6. С. 576.



**Схема 7.** От еще не открытых запасов к загрязнению

На другом конце схемы указан процесс сжигания топлива. Он приводит к появлению загрязнений, которые попадают в финальный сток — биогеохимическую систему планеты, в которой загрязнения либо разлагаются и превращаются в безопасные соединения, либо отравляют среду и приводят к ее деградации. Загрязнения самых разных типов попадают в окружающую среду и на всех прочих этапах схемы, включая геологическую разведку, добычу, переработку на предприятиях нефтегазовой отрасли, транспортировку и хранение. Хотя за последние десятилетия в области снижения выбросов удалось добиться впечатляющих результатов, особенно при бурении, тем не менее, в США производство энергии остается самым главным источником загрязнения грунтовых вод.

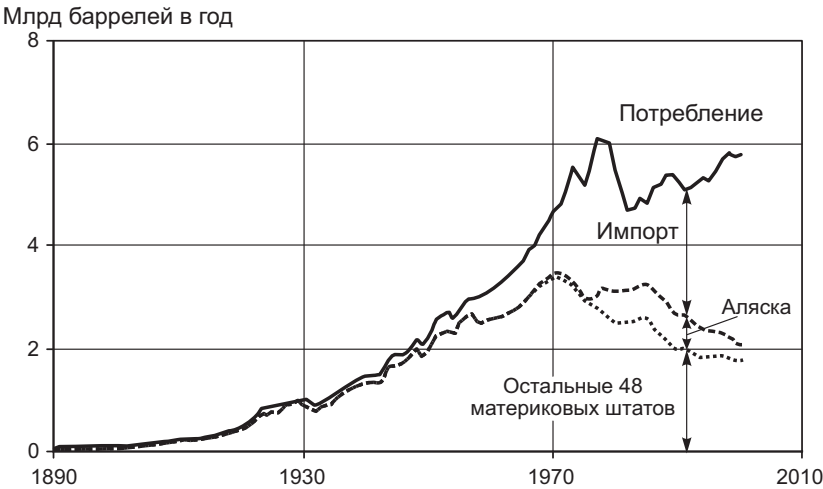
Никто точно не знает, какая часть схемы окажется определяющей при достижении пределов: источник или сток. Тридцать лет назад, накануне скачка цен, вызванного политикой Организации стран — экспортеров нефти (ОПЕК), узким местом казались именно источники. Сегодня на первый план выходит проблема изменения климата, и определяющее значение приобретают стоки. На планете столько запасов каменного угля, что его использование, судя по всему, будет ограничено емкостью атмосферного стока — неспособностью планеты принять такое количество диоксида углерода. Использование нефти может быть ограничено как в начальной, так и в финальной части схемы: сжигание нефти приводит к образованию парниковых газов и других загрязнителей, а запасы расходуются так быстро, что истощатся первыми из всех видов ископаемого топлива. Сейчас многие считают, что для производства энергии основным ресурсом станет газ, что он заменит все прочие невозобновимые ресурсы, пока не будут разработаны альтернативные, устойчивые источники энергии.

Но опыт показывает, что человечеству требуется порядка 50 лет, чтобы перейти с одного основного источника энергии на другой. В мире тем временем может произойти существенное ухудшение ситуации — либо из-за изменения климата, либо из-за истощения одного из ключевых видов топлива.

Оценки объемов неразведанных запасов нефти и газа очень сильно разнятся, точно определить их невозможно в принципе, но в табл. 3.1 все-таки приходится опираться на оценочные данные, хотя для них характерен широкий диапазон неопределенности. Они показывают, что остающихся нефтяных ресурсов (т. е. суммы разведанных и неразведанных запасов) хватит еще на 50–80 лет, если скорость потребления сохранится такой же, как в 2000 г. Газа хватит на срок от 160 до 310 лет. Каменного угля — на еще больший срок. По мере истощения ресурса, разумеется, стоимость его добычи будет возрастать. Если же учесть политические соображения, то цена может увеличиться еще сильнее. В 2000 г. 30% мировой нефти добывалось на Ближнем Востоке и еще 11% — на территории бывшего Советского Союза. На эти регионы суммарно приходится  $\frac{2}{3}$  мировых запасов нефти.

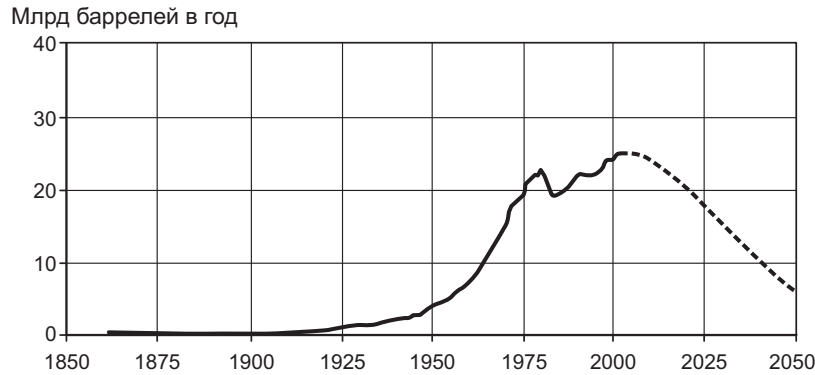
Истощение нефти не будет выглядеть как резкая остановка добычи или внезапное пересыхание нефтяных потоков. Скорее это выразится в уменьшении отдачи от инвестиций в нефтедобычу. Остающиеся запасы будут сконцентрированы всего в нескольких странах, и в итоге в мировом производстве нефти будет достигнут максимум, после которого оно пойдет на убыль. Примером могут служить Соединенные Штаты. Их собственные огромные запасы нефти израсходованы уже более чем наполовину. Максимум в обнаружении новых месторождений был пройден между 1940 и 1950 гг., максимум собственной добычи нефти — в 1970 г., современная потребность все больше удовлетворяется за счет импорта (рис. 3.11).

Примерно такая же последовательность событий будет наблюдаться во всем мире. На рис. 3.12 показан сценарий мировой добычи нефти, основанный на практически тех же оценках нефтяных ресурсов, что использовались в табл. 3.1. Предполагается, что потребление нефти больше расти не будет — оно останется на сегодняшнем уровне, а затем, через несколько десятилетий, добыча начнет постепенно уменьшаться. Это будет происходить в течение всего XXI в. В пользу такого сценария говорит то, что в мире максимум в обнаружении новых месторождений был пройден в 1960-е гг., что в разработку поступают труднодоступные месторождения (причем чем дальше, тем до нефти добраться сложнее, а значит, дополнительно увеличиваются расходы). Так происходит не только на Аляске, но и в глубоко-



**Рис. 3.11.** Добыча и потребление нефти

Собственная добыча нефти Соединенными Штатами достигла максимума в 1970 г. С тех пор добыча в 48 материковых штатах (кроме Аляски) снизилась на 40%. И даже обнаруженные новые месторождения на Аляске не компенсируют это снижение. (Источники: API; EIA/DoE.)

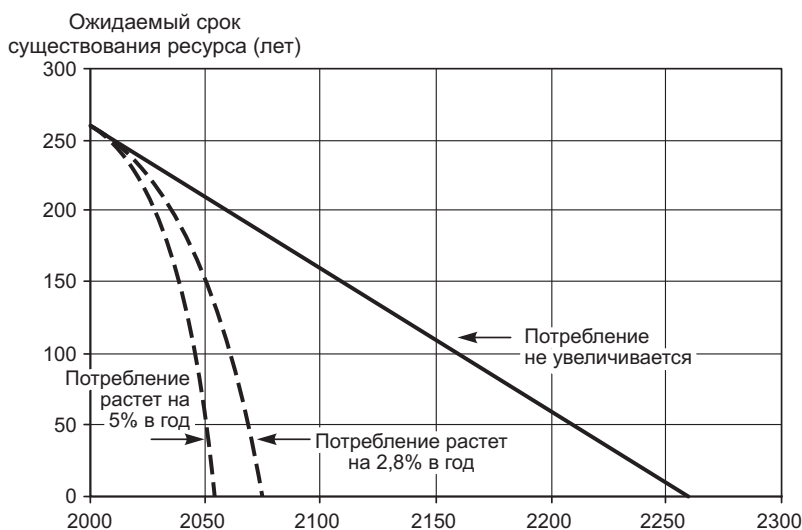


**Рис. 3.12.** Сценарий мировой добычи нефти

Производство нефти в мире до 2000 г. показано сплошной кривой. Методы геолога М. Кинга Хабберта позволили определить наиболее вероятные объемы добычи нефти в будущем. Пунктирная линия в правой части графика показывает предполагаемые объемы добычи, если оставшиеся неразведанные запасы нефти составляют порядка 1,8 трлн баррелей (площадь под пунктирной частью графика). (Источник: K. S. Deffeyes.)

ководной зоне Северного Ледовитого океана, и в удаленных районах Сибири.

Природный газ — очевидный заменитель нефти для множества целей. Из всех видов ископаемого топлива природный газ дает меньше всего загрязнений на единицу энергии (это касается и выбросов парникового газа — диоксида углерода  $\text{CO}_2$ ), поэтому мир заинтересован в том, чтобы поскорей перейти с нефти и каменного угля на газ. Это, в свою очередь, увеличит скорость истощения запасов газа, вплоть до таких масштабов, которые очень удивят людей, не вполне понимающих динамику экспоненциального роста. Рисунки 3.13 и 3.14 показывают, почему это произойдет.



**Рис. 3.13.** Возможные перспективы истощения газовых ресурсов в будущем

Если остающихся неразведанных, но потенциально доступных залежей природного газа хватит на 260 лет при уровне потребления 2000 г., тогда ресурс просуществует до 2260 г. Однако истощение нефти в сочетании с проблемами, которые вызывает использование каменного угля, может ускорить переход на газ и увеличить его потребление уже в ближайшие десятилетия. Если добыча газа продолжит расти со скоростью 2,8% в год, то ресурсы истощатся к 2075 г. Если темп роста составит 5% в год, то весь мировой газ будет израсходован уже к 2054 г.

В 2000 г. показатель запас/добыча для природного газа составлял 65 лет. Это означало, что если разведанные запасы будут расходоваться с той же скоростью, что и в 2000 г., то запасов хватит до 2065 г. Такая экстраполяция неправильна как минимум по двум причинам. Во-первых, будут открыты новые месторождения, кото-



**Рис. 3.14.** Потребность в новых месторождениях, чтобы поддержать рост

Если рост потребления природного газа по-прежнему будет составлять 2,8% в год, то каждые 25 лет необходимо открывать столько же залежей, сколько уже было открыто к этому моменту за все предыдущее время.

рые в расчетах не учитывались. Во-вторых, потребление газа в сравнении с масштабами 2000 г. постоянно растет.

Правильнее было бы начать с оценки остающихся ресурсов газа, т. е. суммы разведанных и неразведанных запасов. Предположим, что будет подтверждена оценка: газовых ресурсов хватит на 260 лет при уровне потребления 2000 г. Это примерно середина расплывчатого диапазона «от 160 до 310 лет», приведенного в табл. 3.1. Если объемы потребления останутся такими же, как в 2000 г., газовые ресурсы будут постепенно истощаться в соответствии с диагональной линией на рис. 3.13. Их хватит на 260 лет. Но если потребление газа продолжит расти, как это и происходит с 1970 г., примерно на 2,8% ежегодно, то ресурс будет расходоваться экспоненциально — по графику, показанному на рис. 3.13 пунктиром. Залежи истощатся не в 2260 г., а в 2075 — ресурса хватит не на 260 лет, а только на 75.

Если же мир быстро перейдет с нефти и угля на газ ради того, чтобы уменьшить изменение климата и избежать быстрого истощения

нефти, то ежегодное увеличение потребления газа будет даже больше, чем 2,8%. Если темп роста составит 5%, то «260-летнего» запаса хватит всего на 45 лет.

На рис. 3.14 показано, сколько новых месторождений нужно обнаружить, чтобы обеспечить постоянный рост потребления природного газа на уровне 2,8% в год. Математический расчет показывает, что для этого количество вновь открываемых залежей газа и его добыча должны удваиваться каждые 25 лет.

Суть не в том, что мир может исчерпать все месторождения природного газа. Остающиеся значительные запасы ресурсов в принципе достаточны для того, чтобы обеспечить человечество в период, пока оно будет переходить на более устойчивые источники энергии. Суть в том, что при экспоненциальном росте потребления все ископаемые виды топлива будут израсходованы слишком быстро, а этого делать нельзя. В сравнении с продолжительностью человеческой истории вся эпоха ископаемого топлива — лишь узкая полоска.

Поскольку для ископаемых видов топлива существуют возобновимые заменители, отсутствие энергии в мире проблемой никогда не станет. Существуют две устойчивых возможности — они не наносят вреда окружающей среде, технически легко реализуемы и весьма выгодны экономически. Одну из них — *большую эффективность* — внедрить можно быстро. Другая — *возобновимые источники на основе энергии Солнца* — потребует немного больше времени для воплощения в жизнь. Кто-нибудь обязательно скажет, что в списке решений мировой энергетической проблемы есть еще один пункт — атомная энергия, но мы так не считаем, поскольку проблему ядерных отходов решить не удастся, в то время как два первых варианта выглядят очень привлекательно. Их можно реализовать проще, быстрее и дешевле, и они гораздо доступнее для бедных стран мира.

Эффективность энергопотребления (*энергоэффективность*) означает, что для получения тех же энергетических услуг, потребляемых конечными пользователями (свет, тепло, охлаждение, транспортировка людей и грузов, перекачка воды, работа двигателей и т. п.), придется вырабатывать меньше энергии, чем сейчас. Это означает, что материальный уровень жизни будет такой же, как сегодня, или даже станет выше, но, как правило, по меньшей цене. Речь идет не только о прямой стоимости энергии в денежном выражении, но и об уменьшении загрязнения, не такой большой перегрузке источников энергии для жилого сектора, не столь остром конфликте с промышленными потребителями... Для многих стран это означает в конечном счете уменьшение внешнего государственного долга, а также военных расходов для доступа или контролирования иностранных ресурсов.



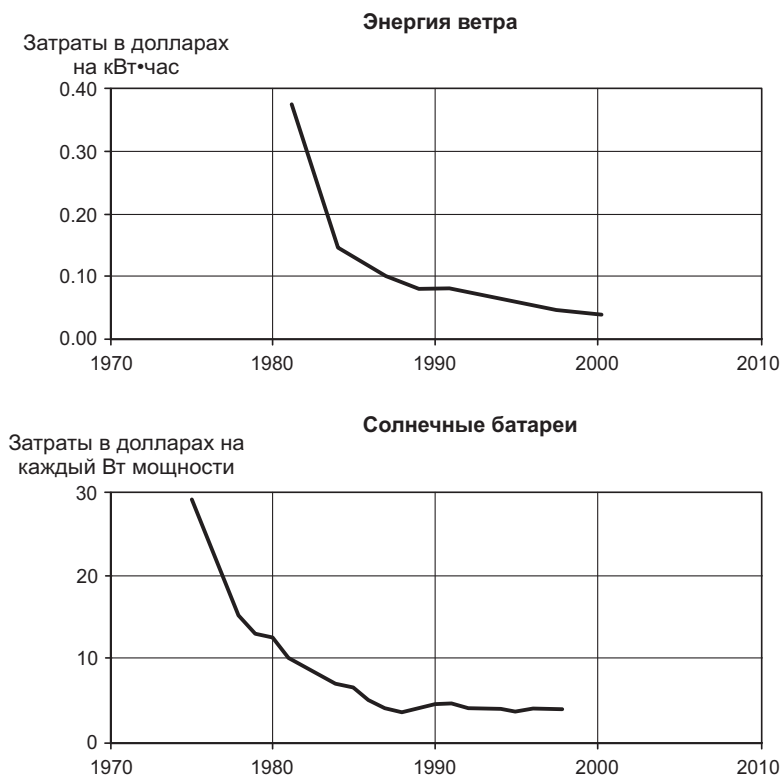
Технологии эффективности, от лучшей теплоизоляции до экономических двигателей, совершенствуются так быстро, что оценки энергии, необходимой для выполнения какой-либо конкретной задачи, приходится пересматривать в сторону уменьшения буквально каждый год. Компактные флуоресцентные лампочки дают то же количество света, что и лампы накаливания, но используют вчетверо меньше электроэнергии. Изолирующие суперокна во всех зданиях США позволили бы сэкономить вдвое больше энергии, чем вся страна получает от нефти с Аляски. Как минимум 10 автомобильных компаний построили прототипы машин, которые способны проехать на одном литре бензина от 30 до 60 км, а передовые технологии, которые сейчас разрабатываются полным ходом, заявляют даже о 70 км на литр. Вопреки сложившемуся предубеждению, на самом деле энергоэффективные автомобили успешно проходят все тесты на безопасность, причем многие из них можно построить при тех же затратах, что и обычные модели машин\*.

Расчеты количества энергии, которое потенциально можно сэкономить за счет увеличения эффективности, сильно зависят от технических и политических пристрастий тех, кто эти расчеты проводит. С чисто технической точки зрения экономика США может продолжать всю ту деятельность, которую она ведет сейчас, но с вдвое меньшими затратами энергии — за счет современных технологий и при таких же денежных расходах, что и сейчас, или даже ниже. Это позволило бы США подобраться к современному уровню энергоэффективности, достигнутому в Западной Европе\*\*, что снизило бы мировое потребление нефти на 14%, угля на 14% и газа на 15%. Такие же или даже более серьезные улучшения в области эффективности вполне достижимы и в Восточной Европе, и в менее промышленно развитых странах мира.

Оптимисты говорят, что это только начало. Они уверены, что Западная Европа и Япония (самые энергоэффективные страны мира на сегодняшний день) могут увеличить эффективность еще в 2 или даже 4 раза, используя уже существующие технологии либо разработки, которые появятся в течение ближайших 20 лет. Такая высокая эффективность позволила бы удовлетворять практически все

\* Эта информация и большая часть приведенных данных получены от Эймори Ловинса из Института Рокки Маунтин. Более подробная статистика по эффективности использования энергии на транспорте, в промышленности и в строительстве содержится в журнале *Scientific American*. 1990. 263, no. 3, September.

\*\* См. данные: UNDP, Human Development Indicators 2003, <http://hdr.undp.org/reports/global/2003/indicator/index.html>.



**Рис. 3.15.** Стоимость энергии ветра и солнечных батарей

В период 1980–2000 гг. стоимость электроэнергии, производимой с помощью ветрогенераторов и солнечных батарей, существенно снизилась. Стоимость энергии ветра сейчас сопоставима с финансовыми показателями для новых электростанций, сжигающих ископаемые виды топлива.

мировые потребности в энергии за счет возобновимых источников, прямо или косвенно основанных на энергии Солнца: солнечного излучения, ветра, энергии движущейся воды и энергии биомассы. Каждый божий день Солнце изливает на Землю энергии в 10 000 раз больше, чем потребляет все человечество\*.

Технический прогресс в улавливании и преобразовании солнечной энергии уступает технологиям энергосбережения в скорости развития, но, несмотря на это, идет уверенными шагами. Стоимость электроэнергии, получаемой с помощью солнечных батарей или

\* Суммарное использование ископаемого топлива человечеством позволяет получить поток энергии порядка 5 тераватт (1 ТВт = 10<sup>12</sup> Вт). На Землю от Солнца постоянно поступает поток энергии в 80 000 ТВт.

ветрогенераторов, за последние 20 лет значительно уменьшилась (рис. 3.15). В 1970 г. электроэнергия от солнечных батарей обходилась примерно в 120 долларов за один ватт мощности. К 2000 г. стоимость упала до 3,5 долларов за ватт\*. В странах со слаборазвитой промышленностью солнечные батареи стали эффективным в финансовом отношении вариантом энергообеспечения деревень и систем орошения, для которых слишком дорого обойдется прокладка линий электропередач от удаленных источников электроэнергии.

Если учесть современный уровень цен на энергию, распространенность ветряных энергетических установок должна резко возрасти. В конце 2002 г. энергия, получаемая во всем мире за счет ветрогенераторов, оценивалась примерно в 31 000 МВт — эквивалент более 30 атомных реакторов. С конца 2001 г. был достигнут рост в 28%, а за пять лет с 1997 г. объемы получаемой энергии выросли в 4 раза\*\*. Такие изменения должны существенно повлиять на все спекуляции по поводу будущей нехватки энергии.

---

«Я уверен, что нефтяные компании, какими мы их знаем, доживают последние годы... Мировая экономика меняется. В будущем вы станете парковать автомобиль около дома, чтобы использовать его же топливный элемент для обеспечения электричеством всех домашних нужд. Электрические сети всей страны будут больше похожи на Интернет, чем на сеть электропитания. На самом деле, если бы все машины на дорогах США были оснащены топливными элементами, у нас было бы в 5 раз больше электроэнергии, чем дают сегодня все источники энергии в стране, вместе взятые»\*\*\*.

---

Возобновимые источники энергии, конечно, не полностью безвредны для окружающей среды, и они тоже не безграничны. Для ветряных ферм нужны большие пространства и подъездные дороги. В некоторых типах солнечных батарей используются токсичные соединения. Из-за плотин электростанций затапливаются окрестные земли, а реки больше не текут свободным потоком. Биомасса как источник энергии способна обеспечивать самоподдержание только в том случае, если сельское хозяйство или лесные фермы ведут устой-

---

\* Данные источника: *Brown L. et al. Vital Signs 2000. New York: W. W. Norton, 2000. С. 58.* Оба графика построены в долларовых ценах 1998 г.

\*\* Данные источника: *American Wind Energy Association. Record Growth for Global Wind Power in 2002. Washington, DC: AWEA, March 3, 2002. С. 1.*

\*\*\* См.: *Bijur P. Global Energy Address to the 17th Congress of the World Energy Council. Houston, September 14, 1998.*

чивую деятельность и сами производят эту биомассу. Некоторые источники, основанные на энергии Солнца, настолько разрежены и нерегулярны, что для их использования нужны огромные территории и очень сложные устройства для хранения собранной энергии\*. И все они требуют привлечения физического капитала и грамотного управления. Возобновимые источники энергии имеют ограниченную производительность; работать они могут вечно, но выдают при этом только определенное количество энергии. Тем не менее в будущем они вполне способны служить основой устойчивого общества. Их много, они широко распространены и разнообразны. Потоки загрязнений, связанные с их использованием, меньше и, как правило, менее вредны, чем потоки от использования атомной энергии или энергии ископаемого топлива.

Если бы для обеспечения потребностей человека были использованы самые устойчивые, самые чистые (точнее, менее всего загрязняющие) источники с самой большой эффективностью, то система вообще не вышла бы за пределы. Для этого нужны лишь политическая воля, технологические разработки и определенные социальные изменения.

Поскольку неразведанные запасы газа представляются достаточно большими, получается, что лимитирующим фактором энергетики будут стоки. На рубеже тысячелетий это уже стало очевидным. Изменение климата, вызываемое выбросами диоксида углерода (за львиную долю которых ответственна энергетика), обсуждается дальше в этой главе.

## Сырье

Добыча первичных природных ресурсов часто требует перемещения или обработки большого количества материалов, которые могут привести к изменению или деградации окружающей среды, несмотря на то, что сами эти вещества не имеют экономической ценности. Например, чтобы добраться до месторождения металлов, минеральных руд или пластов каменного угля... приходится перемещать огромные количества пустой породы и отвалов. Часто бедную полезными веществами руду приходится обрабатывать и обогащать, прежде чем она станет пригодной для коммерческого использования, но при этом остаются огромные количества отходов... Подобные потоки — часть

---

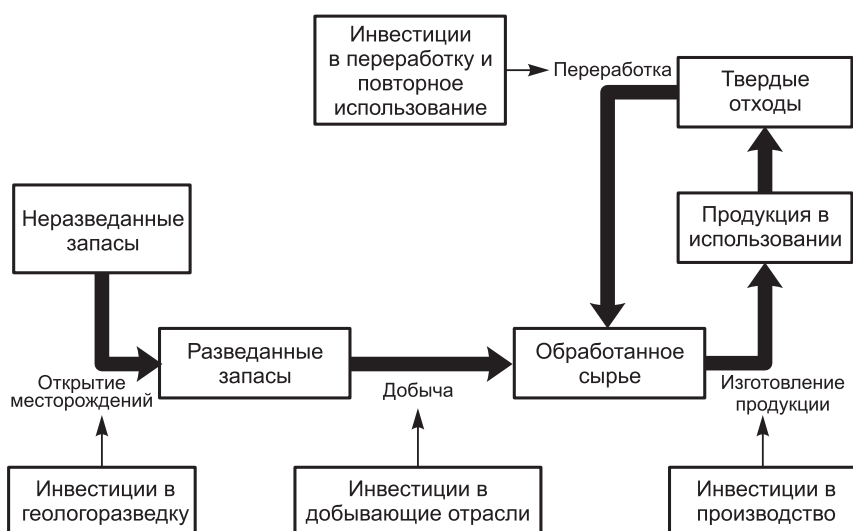
\* Самый перспективный способ запасаения энергии — расщепление молекул воды с высвобождением водорода за счет солнечно-электрического источника энергии. Водородный двигатель, судя по всему, в будущем станет основным видом двигателей на транспорте. Более подробно это описано в главе 5 в сборнике: *Brown. Eco-Economy*.

экономической деятельности страны, но они практически никогда не учитываются монетарной экономикой... В бюджете страны они вообще никак не отражаются. В результате в статистических данных возникает существенный пробел, и мы недооцениваем зависимость промышленной экономики от природных ресурсов.

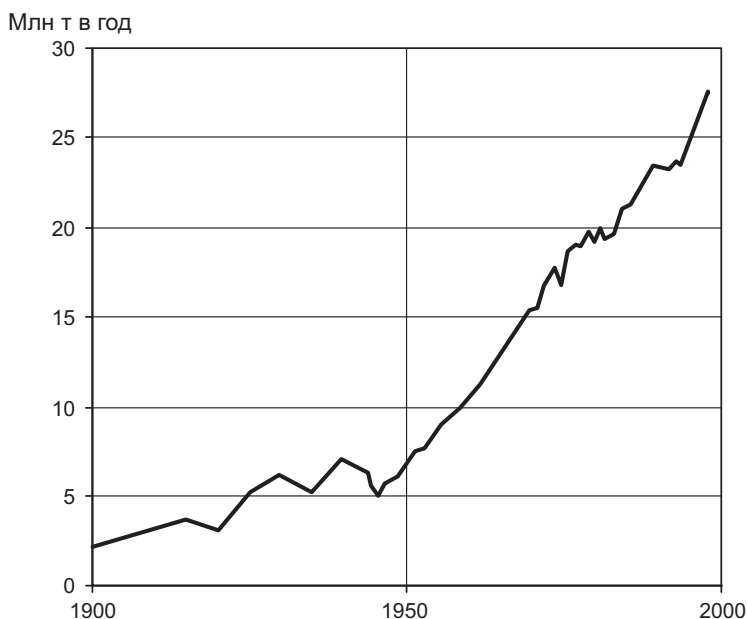
*Институт мировых ресурсов, 1997 г.*

Лишь 8% людей на планете имеют личный автомобиль. Сотни миллионов человек проживают в трущобах или вообще не имеют крыши над головой, не говоря уж о холодильниках или телевизорах. Если в мире будет еще больше людей и если всех их надо обеспечить жильем, медицинским обслуживанием, образованием, машинами, холодильниками, то для этого понадобится огромное количество стали, бетона, меди, алюминия, пластмасс и других видов материалов.

Потоки веществ, получаемых из земных недр и поступающих в экономику и обратно в землю, можно изобразить схематически (схема 8), подобно тому, как мы показывали на схемах потоки ископаемых видов топлива, но за одним исключением. В отличие от ископаемого топлива, такое сырье, как металлы и стекло, не превращается после использования в углекислый газ и воду. Либо они складываются где-то в виде твердых отходов, либо их собирают и используют повторно, либо измельчают, дробят, растворяют, испаряют или другим способом рассеивают в воздухе, в воде или в почве.



**Схема 8.** От неразведанных запасов к переработке и повторному использованию



**Рис. 3.16.** Мировое потребление пяти основных металлов

Потребление меди, свинца, цинка, олова и никеля на протяжении XX в. значительно выросло. (Источники: Klein Goldewijk and Battjes; U.S. Bureau of Mines; USGS; U.S. CRB.)

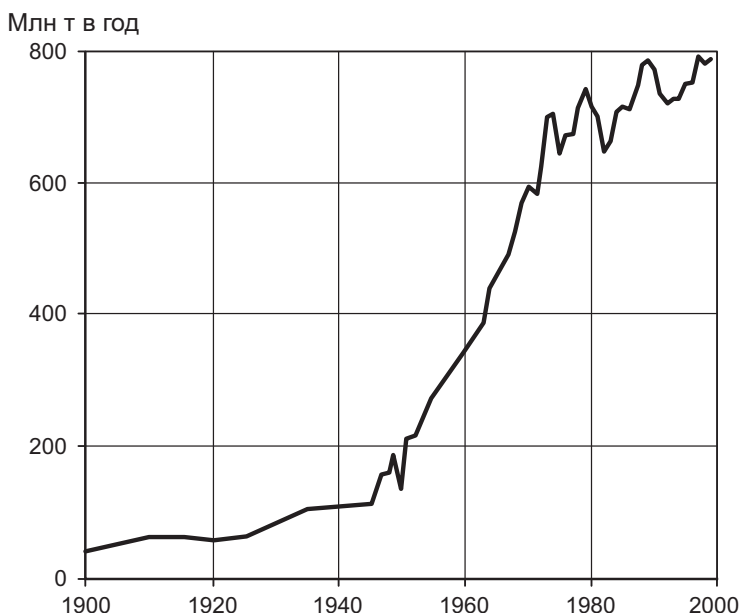
На рис. 3.16 показана статистика мирового потребления пяти основных металлов в период с 1900 по 2000 г. Данные показывают, что с 1950 по 2000 г. их потребление выросло более чем в 4 раза.

Существует предел количеству меди, никеля, олова и сопутствующих металлов, которые даже самый богатый человек способен использовать за год. Этот предел высок, но очень показателен — по крайней мере, в Северной Америке. Для большинства металлов среднее потребление на душу населения в индустриальных странах в 8–10 раз выше, чем в странах, где промышленность развита слабо. Если 9 млрд человек будут потреблять сырье теми же темпами, что и среднестатистический американец в конце XX в., то производство стали в мире придется увеличить в 5 раз, меди — в 8 раз, а алюминия — в 9 раз.

Большинство людей интуитивно понимают, что такие потоки сырья обеспечить невозможно, да в них и нет нужды. Невозможны они потому, что существуют пределы глобальных источников и стоков, при этом по всем этапам пути от источников до стоков — во время обработки, изготовления, эксплуатации и использования материалов — возникают и поступают в окружающую среду загрязне-

ния. И они не являются необходимыми, поскольку использование материальных потоков на душу населения (продовольствия, воды, древесины, энергоносителей и т. п.) в богатых странах в конце XX в. ведется неразумно и расточительно. Хороший уровень жизни можно поддерживать, не нанося природе такого большого вреда.

Уже видны признаки того, что мир понемногу усваивает этот урок. На рис. 3.17 показан график производства стали. В середине 1970-х гг. произошло что-то, что прервало плавный экспоненциальный рост. Замедление роста объясняется несколькими теориями, и, похоже, что в каждой из них есть разумное зерно.



**Рис. 3.17.** Мировое потребление стали

Потребление стали описывается S-образной (логистической) кривой. (Источники: Klein Goldewijk and Battjes; U.S. Bureau of Mines; USGS; U.S. CRB.)

- За последнее время стало четко проявляться стремление использовать меньше сырья для производства большего количества итоговой продукции и услуг. На это влияют экономические стимулы и развитие технологий.
- Скачок цен на нефть в 1973 г. и повторный скачок в 1979 г. привели к резкому росту цен на металлы, ведь при их производстве расходуется много энергии. Это дополнительно стимулировало экономию энергии и сырья во всех областях деятельности.

- Те же высокие цены стимулировали еще и расширение переработки и повторного использования сырья. Этому способствовало также ужесточение законов в защиту окружающей среды и проблемы с выделением площадей для хранения твердых отходов.
- Проблемы вызвали ускорение развития технологий. Пластмассы, керамика и другие виды материалов в некоторых областях вытесняли металл. А изделия, которые по-прежнему изготавливались из металла — автомобили, банки для напитков и многое другое, — становились легче.
- Учитывая, что экономика в 1980-е гг. переживала период застоя, отрасли тяжелой промышленности оказались в непростом положении, и потребности в основных металлах несоразмерно уменьшились\*.

Хотя экономические причины, по которым рост потребления сырья замедлился, могут быть временными, тем не менее, технологические изменения практически всегда становятся постоянными. И ограничение материальных потоков ради сохранения окружающей среды тоже становится постоянным. Самое интересное: на протяжении последних нескольких десятилетий цены на некоторые виды сырья уменьшаются, что показывает, что предложение превышает спрос на них\*\*.

В бедных странах всегда собирали и использовали вторичное сырье, поскольку источников первичного сырья на их территории изначально было мало. Богатые страны сейчас заново учатся переработке и вторичному использованию из-за истощения их первичных источников. Сбор и переработка вторсырья постепенно превращаются из отрасли, зависевшей в основном от рабочей силы, в капиталоемкую и энергоемкую сферу деятельности. В ней используются механические ворошители компоста, измельчители, сетчатые фильтры, утилизационные котлы, смесители шлама, автоматы для приема пустой посуды, возвращающие потребителям залоговую стоимость за бутылки, банки и многое другое. Отрасль управляют компании, участвующие в программах переработки мусора для промышленных предприятий и муниципалитетов.

Самые предусмотрительные производители разрабатывают продукцию таким образом, чтобы после использования ее можно было

---

\* Систематический анализ этих возможностей приведен в источнике: *Tilton J. E. (ed.). World Metal Demand. Washington, DC: Resources for the Future, 1990.*

\*\* См. отчет: *Organization for Economic Cooperation and Development, Sustainable Development: Critical Issues. Paris: OECD, 2001. С. 278.*



разобрать и утилизировать, и касается это самых разных товаров, от чайников до автомобилей. Новые модели BMW, например, оснащены пластиковым внутренним корпусом, который полностью поддается переработке — он специально так сделан. На пластик все чаще наносится специальная маркировка, указывающая тип полимера. Разные типы пластмасс нельзя смешивать между собой, и маркированную продукцию легче рассортировать и утилизировать отдельно.

Маленькие усовершенствования, если их много, вместе могут привести к большим изменениям. В 1976 г. была изобретена новая конструкция ключа для алюминиевых банок с прохладительными напитками. После того как банка открывалась, ключ больше не отделялся от нее и в итоге поступал на утилизацию вместе с опустевшей банкой. К концу тысячелетия североамериканцы ежегодно использовали более 105 млрд ( $105 \times 10^9$ ) алюминиевых банок, из них на переработку поступало примерно 55%. Это значит, что *каждый год* переработка только тех самых ключей для банок сэкономила 16 000 т алюминия и примерно 200 млн киловатт-часов электроэнергии\*.

Разделение и переработка материалов после использования — большой шаг навстречу устойчивости. За счет этих процессов материалы начинают перемещаться в экономической системе по замкнутым циклам — подобно тому, как это происходит в природе. В экосистемах отходы, производимые одним процессом, становятся сырьем для других процессов. Огромное количество экосистем, особенно почвенных, заняты переработкой «отходов природы»: вещества разлагаются на составляющие, которые природа использует снова и снова. Передовая экономика человечества, как и природа, теперь развивает отрасль переработки\*\*.

Однако переработка твердых отходов — лишь малая толика проблем с материальными потоками, ведь это только конец цепи. Эмпирическое правило гласит: на каждую тонну мусора, производимого потребителями продукции, приходится примерно 5 т отходов на стадии производства, и еще 20 т отходов — в месте добычи ресурса (на шахтах, нефтяных скважинах, участках вырубки леса, сельско-

\* Информация получена из частной беседы с Александром Мортенсенем из норвежской компании по переработке *Tomra ASA* ([www.tomra.no](http://www.tomra.no)). В 2001 г. мировое производство алюминия из руды достигало 21 млн т в год. В дополнение к этому еще 2,2 млн т алюминия производилось из вторичного сырья ([www.world-aluminum.org/iai/stats/index.asp](http://www.world-aluminum.org/iai/stats/index.asp)). Данные по упаковке для прохладительных напитков получены с сайта [www.canadean.com](http://www.canadean.com); по переработке — с сайта [www.container-recycling.org](http://www.container-recycling.org).

\*\* См. данные: WRI, *Resource Flows: The Material Basis of Industrial Economies*. Washington, DC: WRI, 1997. В этом источнике приводится обзор по уменьшению материальных потоков в четырех отраслях экономики.

хозяйственных полях и т. п.)<sup>\*</sup>. Лучший способ уменьшить эти потоки отходов — увеличить срок службы конечной продукции и снизить потребность в первичном сырье.

Увеличить срок службы можно за счет улучшения конструкций, обеспечения ремонтпригодности, а также за счет повторного использования (например, лучше использовать моющиеся стаканы, чем одноразовые). Все эти методы более эффективны, чем переработка, поскольку для них не требуются дробление, измельчение, переплавка, очистка и повторное изготовление продукции. Удвоив средний срок службы товаров, можно вдвое уменьшить потребление энергии, потоки отходов и загрязнений, а также расход первичного сырья для изготовления целевой продукции. Но чтобы прийти к окончательным выводам насчет минимизации воздействия на окружающую среду, необходимо тщательно проанализировать весь цикл производства и использования. Иногда это дает просто поразительные результаты.

Уменьшение использования первичного сырья означает, что необходимо найти способ выполнить ту же задачу, что и раньше, но с использованием меньшего количества материалов. По сути этот метод — аналог энергетической эффективности, и возможности в этой области неограниченны. В 1970 г. среднестатистическая американская машина весила больше 3 т, причем почти вся масса приходилась на металл. Сегодня машины весят гораздо меньше, и существенная доля веса приходится на полимерные материалы. Компьютерные микросхемы сейчас размещаются на крохотных кремниевых чипах, а ведь раньше для этого использовались тяжелые ферромагнитные сердечники. Маленькая флеш-карта, которая легко умещается в кармане, может содержать столько же информации, что и 200 000 бумажных страниц. Сверхчистое оптическое волокно, которое тоньше волоса, позволяет обеспечить столько же телефонных соединений, что и сотни медных кабелей, при этом качество связи только улучшается.

В начале индустриальной революции в производственных процессах использовались высокие температуры, большие давления, едкие химикаты и большие механические усилия. Теперь же ученые все больше используют тонкое молекулярное конструирование и программирование на геномном уровне. Прорыв в нанотехнологиях и в биотехнологии позволяет промышленности буквально подбирать молекулу к молекуле, организуя процессы все ближе к тому, как они происходят в живой природе.

Вторичная переработка, увеличение эффективности, продление срока службы продукции и уменьшение использования первичного

<sup>\*</sup> Сводные данные по производству отходов в различных странах мира см. в материалах: OECD, Environmental Data: Compendium 1999. Paris: OECD, 1999.

сырья достигли в современном мире впечатляющих результатов. Но в глобальном масштабе огромные материальные потоки, питающие экономику, пока не уменьшились. В лучшем случае уменьшилась скорость их роста. А миллиарды человек на планете по-прежнему нуждаются в автомобилях и холодильниках. Хотя люди сейчас лучше осведомлены о пределах стоков, чем о пределах источников материальных потоков, тем не менее, рост потребления сырья продолжается. Он неизбежно приведет и к пределам источников. Многие вещества, столь полезные человеческому обществу, встречаются в земной коре в концентрированном виде очень редко. Их добыча обходится очень дорого, затраты выражаются в расходе энергии, капитала, в виде нагрузки на окружающую среду и в виде социальной напряженности.

Геолог Эрл Кук показал, как редко встречаются на самом деле богатые минеральные руды\*. С того момента, как исследование Кука было завершено, прошло почти 30 лет. Технологии за это время достигли большого прогресса, но общие выводы исследования по-прежнему верны. Некоторые элементы, например, железо и алюминий, в природе встречаются в изобилии. Они не будут ограничены со стороны источников, добывать их можно в самых разных частях света. Другие же — как, например, свинец, олово, серебро, цинк — встречаются гораздо реже. Для них истощение источников — самая непосредственная угроза.

Некоторое представление об относительной скудости ресурсов можно получить из статистических данных, полученных в недавнем исследовании мировой добывающей промышленности. Работы проводил Международный институт экологии и развития (International Institute for Environment and Development, IIED). В табл. 3.2 указаны сводные данные по восьми важным металлам. Учитывая, что ежегодные темпы роста составляют примерно 2% (для одних металлов меньше, для других больше, но в целом 2% — довольно точное приближение), имеющиеся запасы способны обеспечить добычу на период от 15 до 80 лет. Разумеется, технологии будут улучшаться и дальше, цены станут выше, производители освоят новые области добычи и разведывают новые месторождения. Скорее всего, приведенные временные оценки занижены. Вопрос в том, насколько. Оптимистичные показатели предполагают, что запасов хватит на 500, а то и на 1000 лет. Реальные цифры — где-то посередине. Количество ресурсов, которые можно расценивать как доступные запасы, зависит от затрат энергии и капитала на их добычу, а также от социальных и экологических последствий.

\* См.: Cook E. Limits to Exploitation of Nonrenewable Resources // Science. 1976. 20, February.

Таблица 3.2

## Ожидаемые разведанные запасы по 8 металлам

| Металл   | Среднее годовое производство в 1997–1999 гг. | Средние темпы роста производства в 1975–1999 гг. | Разведанные запасы в 1999 г. | Срок, на который хватит разведанных запасов, при ежегодном росте добычи на 2% | Объемы ресурса             | Срок, на который хватит объемов ресурса, при ежегодном росте добычи на 2% |
|----------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
|          | Млн т в год (10 <sup>6</sup> )               | % в год                                          | Млрд т (10 <sup>9</sup> )    | Лет                                                                           | Трлн т (10 <sup>12</sup> ) | Лет                                                                       |
| Алюминий | 124                                          | 2,9                                              | 25                           | 81                                                                            | 2 000 000                  | 1070                                                                      |
| Медь     | 12                                           | 3,4                                              | 0,34                         | 22                                                                            | 1500                       | 740                                                                       |
| Железо   | 560                                          | 0,5                                              | 74 000                       | 65                                                                            | 1 400 000                  | 890                                                                       |
| Свинец   | 3,1                                          | –0,5                                             | 0,064                        | 17                                                                            | 290                        | 610                                                                       |
| Никель   | 1,1                                          | 1,6                                              | 0,046                        | 30                                                                            | 2,1                        | 530                                                                       |
| Серебро  | 0,016                                        | 3,0                                              | 0,00028                      | 15                                                                            | 1,8                        | 730                                                                       |
| Олово    | 0,21                                         | –0,5                                             | 0,008                        | 28                                                                            | 40,8                       | 760                                                                       |
| Цинк     | 0,8                                          | 1,9                                              | 0,19                         | 20                                                                            | 2200                       | 780                                                                       |

Таблица иллюстрирует огромную разницу между разведанными запасами и объемами ресурса. Разведанные запасы к настоящему времени уже точно определены, их можно добыть с помощью существующих технологий и по существующим ценам. Объемы ресурса — это суммарное количество вещества, которое, предположительно, есть во всей земной коре. Человечеству никогда не удастся исчерпать ресурс полностью, однако изменения в ценах, технологиях, а также открытие новых месторождений позволяют несколько увеличить объемы разведанных запасов. (Источник: MMSD.)

Исследование Международного института экологии и развития сосредоточилось на роли стоков в качестве лимитирующих факторов в использовании минерального сырья.

Тенденции добычи руд и использования полезных веществ, а также оценка объемов ресурсов на земном шаре уменьшили опасения насчет того, что мир останется без минерального сырья, но все больший вес приобретают потенциальные пределы выносливости окружающей среды и социальные факторы, влияющие на доступность материалов. Доступность минерального сырья могут ограничивать следующие факторы:

- доступность энергии или воздействие на окружающую среду из-за использования большого количества энергии на единицу продукции при обогащении руд, в которых содержание целевых компонентов невелико;
- доступность воды для добычи минерального сырья или воздействие на окружающую среду из-за использования большого количества воды при обогащении бедных руд;
- социальные предпочтения по использованию земель на другие цели, отличные от добычи руды (ведение сельского хозяйства, производство продовольствия, сохранение биоразнообразия, нетронутых уголков дикой природы, территорий, имеющих культурное значение);
- нежелание местного населения мириться с работой предприятий тяжелой промышленности поблизости;
- изменение направлений использования;
- пределы устойчивости экосистем по концентрации в воде, воздухе, почвах и растительности различных компонентов минерального сырья (особенно металлов) и сопутствующих соединений\*.

На рис. 3.18 показано, как происходит истощение минеральных ресурсов на примере постепенного обеднения добываемых медных руд. На рис. 3.19 приводятся последствия такой добычи. Чем меньше металла в руде, тем больше первичного сырья (в расчете на тонну целевых компонентов) приходится извлекать из земли и перерабатывать для отделения пустой породы. Среднее содержание меди в рудах месторождения Батт в Монтане уменьшилось с 30 до 0,5%, поэтому теперь вместо 3 т пустой породы на каждую тонну меди производится уже 200 т отходов. Увеличение количества отходов практически совпадает с увеличением количества энергии, необходимой для производства каждой тонны целевой продукции. Истощение металлических руд приводит к ускорению истощения ископаемых видов топлива и к увеличению нагрузки на окружающую среду.

\*

См. отчет: International Institute for Environment and Development and World Business Council for Sustainable Development. *Breaking New Ground: Mining, Minerals, and Sustainable Development*. London: Earthscan, 2002. С. 83.



**Рис. 3.18.** Обоеднение медной руды, добываемой в США

До 1910 г. в США добывались руды со средним содержанием целевого компонента от 2 до 2,5%. С тех пор среднее содержание меди в руде постоянно уменьшается. Скачок в 1930-х гг. и незначительное повышение в 1980-е гг. объясняются экономическими потрясениями и закрытием тех шахт, которые становились нерентабельными — работу продолжали только те шахты, которые добывали более богатую руду.



**Рис. 3.19.** Обоеднение минеральных руд, приводящее к существенному росту отходов производства

При уменьшении среднего содержания металла в руде с 8 до 3% происходит резкое увеличение количества пустой породы в расчете на тонну целевой продукции. Если содержание падает ниже 3%, объемы пустой породы возрастают многократно. Рано или поздно стоимость добычи и переработки отходов превысит выгоду от добычи металла.

## Стоки для загрязнений и отходов

За последние несколько десятилетий человек стал новой силой природы. Мы изменяем физические, химические и биологические системы ранее неизвестными способами, с более высокими скоростями и на больших территориях, чем это когда-либо раньше видела Земля. Вольно или невольно человек проводит на планете грандиозный эксперимент. Результаты его неизвестны, но уже сейчас заметно глубокое влияние на все виды жизни на планете.

*Джейн Любченко, 1998 г.*

Во время проведения Стокгольмской конференции по проблемам окружающей среды в 1972 г. в мире было не более десятка стран, в которых существовали министерства или агентства по охране окружающей среды. Сейчас трудно найти государство, в котором не было бы природоохранной бюрократии. Разработаны самые разные программы экологического образования, появилось множество специализированных групп, привлекающих внимание к конкретным экологическим проблемам. Деятельность этих относительно новых организаций по защите окружающей среды вызывает смешанные чувства. Нельзя сказать, что мир полностью решил проблемы с загрязнением среды, но при этом не стоит и заявлять, что в этой области нет никакого прогресса.

Самого большого успеха удалось добиться в борьбе со специфическими загрязнителями, которые однозначно вредны для здоровья человека, которые несложно выделить и просто запретить использовать. На рис. 3.20 показано, например, как в США запрет на использование свинца в топливе привел к снижению его концентрации в крови людей. За последние несколько десятилетий в определенных местах уменьшилась концентрация и других видов загрязнений — например, цезия-137 в Финляндии и ДДТ в Прибалтике.

В промышленно развитых странах после того, как были приложены определенные усилия и потрачены значительные средства, удалось добиться некоторого успеха в уменьшении выбросов части (не всех) самых типичных загрязнителей воздуха и воды. Рисунок 3.21 демонстрирует, как страны Большой семерки\* снизили выбросы диоксида серы почти на 40% за счет установки на дымовые трубы газоочистителей, а также за счет перехода на топливо с низким содержанием серы. Химически уловить другие загрязнители — например, диоксид углерода или оксиды азота — довольно сложно. Такие выбросы

---

\* Данные по странам: США, Япония, Великобритания, Франция, Германия, Италия и Канада.



**Рис. 3.20.** Уменьшение содержания загрязнителей в окружающей среде и организме человека

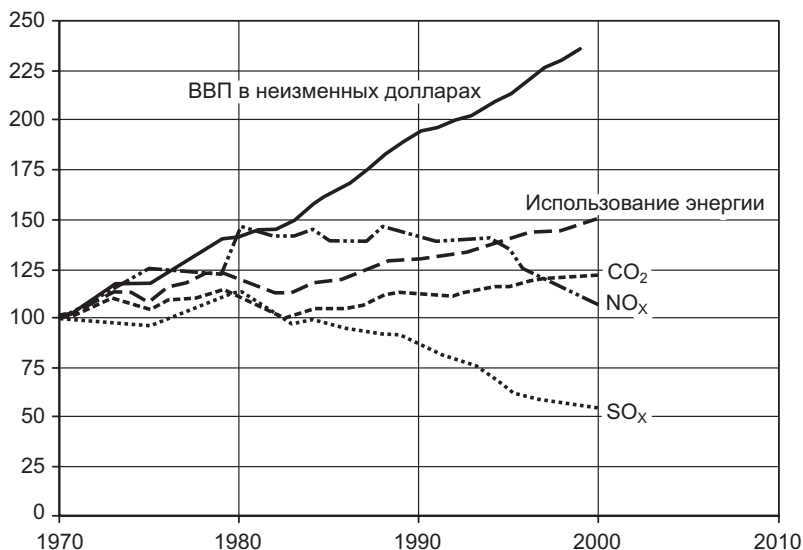
Концентрации определенных загрязнителей в некоторых частях света за последние десятилетия уменьшились. Такие улучшения в основном стали следствием прямого запрета на использование токсичных веществ (например, свинец-содержащих добавок в топливе или пестицида ДДТ в сельском хозяйстве), а также результатом прекращения наземных испытаний ядерного оружия (атмосферных атомных взрывов). (Источники: Swedish Environmental Research Institute; АМАР; ЕРА.)

держались примерно на одном и том же уровне на протяжении 20 лет, несмотря на экономический рост — в основном это произошло за счет того, что выросла энергоэффективность.

В истории с загрязнением реки Рейн можно увидеть и успехи, и неудачи в защите водной среды от отходов.



Уровень 1970 г. принят за 100



**Рис. 3.21.** Объемы выбросов определенных загрязнителей воздуха

Промышленно развитые страны прилагают серьезные усилия для повышения энергоэффективности и ограничения выбросов некоторых загрязнителей в окружающую среду. Хотя экономика с 1970 г. по ВВП удвоилась, тем не менее, выбросы диоксида углерода (CO<sub>2</sub>) и оксидов азота (NO<sub>x</sub>) остались практически на прежнем уровне (в основном за счет большей энергоэффективности), а выбросы оксидов серы (SO<sub>x</sub>) даже уменьшились на 40% (как за счет энергоэффективности, так и благодаря новым технологиям очистки). (Источники: World Bank; OECD; WRI.)

После Второй мировой войны растущие уровни загрязнения в водах Рейна постепенно привели к уменьшению концентрации растворенного кислорода, а ведь от него зависят практически все речные формы жизни. Уровень кислорода достиг минимума примерно в 1970 г., и река стала почти безжизненной. К 1980 г. положение улучшилось — в основном за счет больших финансовых вложений в очистку сточных вод. Однако с токсичными тяжелыми металлами (прежде всего ртутью и кадмием) очистным сооружениям справиться не удавалось, и их концентрация в водах Рейна стала уменьшаться только тогда, когда страны, через территорию которых протекает река, приняли очень жесткие законы против загрязнения окружающей среды. В результате к 2000 г. тяжелых металлов в воде уже оставалось мало. Но вот в иле и донных отложениях они по-прежнему есть. Поскольку такие соединения химически не разлагаются, их концентрация велика, особенно в дельте Рейна. Содержа-

ние хлора тоже продолжает оставаться высоким. Страны, находящиеся ниже по течению, до сих пор не придумали способ борьбы с главным источником хлора — соляными копиями в Эльзасе — хотя и предполагается, что их наконец закроют. Загрязнение нитратами из-за стоков с сельскохозяйственных полей, где используются химические удобрения, тоже велико. Поскольку источники таких загрязнений не точечные, а распределенные, очистные сооружения в этом случае бесполезны. Единственный способ борьбы — изменить принятые методы ведения сельского хозяйства по всему речному бассейну. Тем не менее, несмотря на остающиеся проблемы, стоило бы отпраздновать появление первого лосося в водах Рейна в 1996 г., ведь в долине верхнего Рейна около Баден-Бадена лосось исчез больше 60 лет назад\*.

Другие промышленно развитые страны действовали схожим образом, направляя большие инвестиции на улучшение качества воды своих основных рек и водоемов. Вложив несколько десятков миллиардов долларов в очистные сооружения, им удалось превратить бывшие сточные ямы в водоемы, качество воды в которых пригодно для разведения лосося. Самый известный пример, наверное, Темза. И даже вода Нью-Йоркского залива с 1970 г. стала чище (рис. 3.22)\*\* . Более чистая вода означает, что выбросы в расчете на единицу человеческой деятельности уменьшились сильнее, чем за это же время выросли объемы самой деятельности. Экологическая нагрузка на водотоки уменьшилась. То же самое происходит во многих промышленно развитых странах и с качеством воздуха. За счет сочетания строгого законодательства, финансовых вливаний в технологии очистки, а также перехода на новые, более экологически чистые технологии производства, уровень загрязнения воздуха пылевыми частицами, диоксидом серы, монооксидом углерода, свинцом за последние несколько десятилетий в США и Великобритании значительно уменьшился. И даже концентрации тех загрязнителей, которые сложно уловить (например, оксиды азота ( $\text{NO}_x$ ) и озон в нижних слоях атмосферы), тоже уменьшились\*\*\* . Причем произошло это несмотря на то, что за прошедшее время производство энергии и тепла только увеличилось, да и транспортная отрасль

\* Упомянутая информация получена из материалов: *Weber U. The Miracle of the Rhine // UNESCO Courier. June 2000*; а также из базы данных на сайте комиссии по защите Рейна: International Commission for the Protection of the Rhine, [www.iksrl.org](http://www.iksrl.org).

\*\* См.: *Lomborg B. The Skeptical Environmentalist: Measuring the Real State of the World*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. С. 203.

\*\*\* Там же. С. 167–176.



**Рис. 3.22.** Содержание кислорода в загрязненных водах

Загрязнение органическими веществами может привести к уменьшению концентрации кислорода, поддерживающего водные формы жизни в реках. С 1960–1970 гг. в очистные сооружения были вложены очень большие средства, что позволило поднять концентрацию кислорода в Рейне, Темзе и водах Нью-Йоркского залива. (Источники: A. Goudie; P. Kristensen and H. Ole Hansen; OCED; DEP.)

набрала существенно большие обороты в перевозке людей и грузов. Удалось добиться определенных успехов в избавлении от более современных токсичных веществ, таких как полихлорированные бифенилы (ПХБ), ДДТ, другие пестициды\*. И все же успехи в основном носят локальный характер, в то время как общая картина не столь однозначна: многие загрязнители по-прежнему присутствуют в среде, переносятся по всему земному шару вместе с содержащими их потоками, накапливаются в жировых тканях животных...

\* См.: Lomborg B. The Skeptical Environmentalist: Measuring the Real State of the World. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. С. 205.

В богатых странах на борьбу с загрязнениями тратят очень много денег. Самые большие проблемы с состоянием воды и воздуха сейчас наблюдаются в государствах Восточной Европы и в развивающихся странах, где потратить миллиард долларов на борьбу с загрязнением окружающей среды никому и в голову не придет. Эта проблема привлекла всеобщее внимание в 2001 г. — после того, как в Юго-Восточной Азии мгла от выбросов закрыла небо на несколько недель.

Лучшие результаты достигнуты в борьбе с теми загрязнителями, воздействие которых человек ощущает на себе непосредственно, ведь тогда проблема привлекает к себе политическое внимание. Легко отслеживаются видимые невооруженным глазом загрязнители воды и воздуха. С ними удастся успешно бороться прежде всего за счет увеличения экологической эффективности в ведущих мировых производственных корпорациях. Такие усилия должны быть постоянными, чтобы продолжающееся расширение человеческой деятельности можно было компенсировать соответствующими мерами.

Труднее всего бороться с такими загрязнителями, как ядерные отходы, ядовитые вещества, а также соединения, угрожающие глобальным биогеохимическим циклам — например, парниковые газы. Их трудно химически связать или разложить; их присутствие физиологически сложно обнаружить (органы чувств не помогут), а ограничения на использование и выбросы очень нелегко экономически и политически проконтролировать.

Ни одной стране не удалось решить проблему ядерных отходов. В природе такие отходы опасны для любых форм жизни, как из-за прямой токсичности, так и из-за способности вызывать мутации. Если радиоактивные вещества попадут не в те руки, их можно использовать как угрозу, терроризируя весь мир. В природе нет процессов, которые могли бы обезвредить или нейтрализовать ядерные отходы, сделать их безопасными. Радиоактивные элементы распадаются строго по своему внутреннему расписанию, в соответствии с периодом полураспада, который может составлять десятки, сотни, тысячи лет. Они — побочные продукты в производстве атомной энергии. Их накапливают, держат под землей или в бассейнах с водой внутри защитной оболочки атомных реакторов, в тщетной надежде на то, что кто-нибудь когда-нибудь придумает хорошее место для их хранения, поэтому вполне логично, что идея широкого использования атомной энергии вызывает скептическое отношение.

Еще один класс сложных отходов — синтезированные человеком химические соединения, не встречающиеся в природе. Раньше они никогда на планете не существовали, поэтому ни один земной организм не предназначен для их разложения или преобразования

в безопасные соединения. Сейчас коммерчески используется более 65 000 промышленных химических соединений. Токсикологические данные получены только для части из них. На рынок ежедневно выбрасывают новые соединения, при этом многие из них никто предварительно не проверял на токсичность\*. В мире ежедневно создаются многие тысячи тонн вреднейших веществ, большая часть из них — в промышленно развитых странах. Постепенно общество начинает признавать эту проблему; во многих странах уже предпринимают усилия для восстановления почв и грунтовых вод, отравленных за десятилетия безответственного хранения химических отходов.

Наконец, существуют соединения, которые приводят к загрязнению Земли в целом. Такие глобальные загрязнители влияют на всех, независимо от того, кто их создает. Уже стал классическим пример с хлорфторуглеродами (ХФУ), которые разрушают стратосферный озоновый слой. Озоновая история завораживает, ведь это был самый первый явный случай выхода за глобальные пределы. Нам эта история кажется настолько показательной и настолько вселяющей надежду, что мы полностью расскажем ее в главе 5.

Многие ученые (а сейчас еще и многие экономисты) считают, что следующим глобальным пределом, с которым мы столкнемся, будет парниковый эффект вкупе с проблемой изменения климата.

---

Климатическая система Земли действительно изменилась, как в глобальном, так и в региональном масштабе, причем некоторые из этих изменений можно без каких-либо сомнений приписать человеческой деятельности.

---

- С 1860 г. среднегодовая температура на планете увеличилась на  $0,6 \pm 0,2$  °С, при этом два последних десятилетия XX в. были самыми жаркими за прошедшее столетие.
- Увеличение температуры атмосферы в приземном слое в Северном полушарии на протяжении всего XX в. превышает статистику по любому из столетий за прошедшие 1000 лет.
- Распределение осадков на планете изменилось, причем атмосферные катаклизмы в некоторых регионах стали сильнее и вызывают более тяжелые последствия.
- С 1900 г. уровень моря поднялся на 10–20 см; большинство ледников и глетчеров, расположенных вне полярных зон, тает

---

\*

См. доклад: WCED, Our Common Future. С. 224.

и уменьшается; площадь и толщина ледяного покрова в Арктике летом существенно уменьшаются.

- Человеческая деятельность приводит к увеличению концентрации парниковых газов, что вызывает нагрев атмосферы в одних регионах, в то время как в других областях планеты сульфатные аэрозоли приводят к охлаждению атмосферы.
- Большую часть наблюдаемых случаев потепления за последние 50 лет можно считать следствием человеческой деятельности\*.

Десятилетиями ученые измеряли накопление диоксида углерода в атмосфере, происходящее из-за сжигания ископаемого топлива. Мы опубликовали сводные данные по концентрации  $\text{CO}_2$  еще в первом издании этой книги\*\*. Уже более 100 лет известно, что углекислый газ задерживает тепло и вызывает увеличение средней глобальной температуры — эффект подобен тому, как парники пропускают энергию солнечного излучения внутрь, но не позволяют теплу выйти наружу. В последние 30 лет стало понятно, что в результате человеческой деятельности в окружающую среду поступают и другие парниковые газы: метан, закись азота и те самые хлорфторуглероды, которые ответственны за разрушение озонового слоя (рис. 3.23).

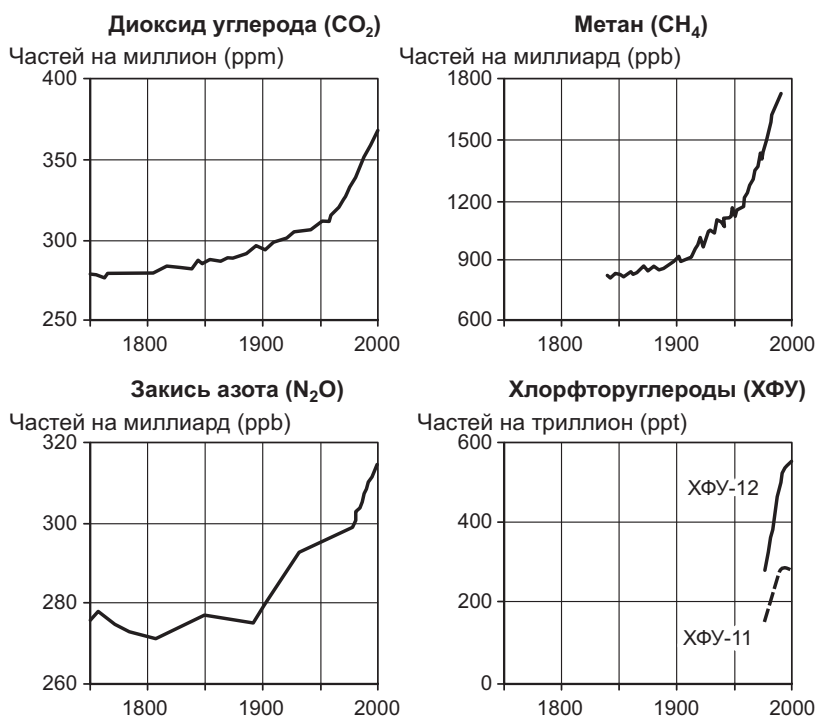
Их количество экспоненциально растет.

Глобальное изменение климата быстро обнаружить невозможно, ведь погода постоянно меняется, день ото дня и год от года. Можно сказать, что климат — это погода, усредненная за большой промежуток времени, поэтому заметить его изменение можно только за очень продолжительный период наблюдений. Тем не менее глобальное потепление уже в конце XX в. стало очевидным, и с тех пор это явление только усиливается, причем с пугающей скоростью. Уже стало привычным читать в газетах, что очередной прошедший год снова стал самым жарким за все время метеорологических наблюдений — и это неудивительно, учитывая скорость, с которой растет средняя глобальная температура (рис. 3.24).

\* Роберт Т. Уотсон, председатель Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC), представил эти ключевые выводы в отчете IPCC Third Assessment Report (Climate Change 2001) на конференции ООН (Sixth Conference of Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change, July 19, 2001). Материалы доступны на сайте [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch).

В 2007 г. был опубликован четвертый отчет IPCC Fourth Assessment Report, содержащий дополнительные данные и заявление о том, что потепление климата — факт, не вызывающий уже никаких сомнений. Материалы отчета также доступны на сайте [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch).

\*\* См. первое издание книги: Meadows D. H. et al. Limits to Growth. New York: Universe Books, 1972. С. 79. (Издание на русском языке: Медоуз Д. Х., Медоуз Д. Л., Рэндерс Й., Беренс В. Пределы роста. М.: Изд-во МГУ, 1991. 208 с.)



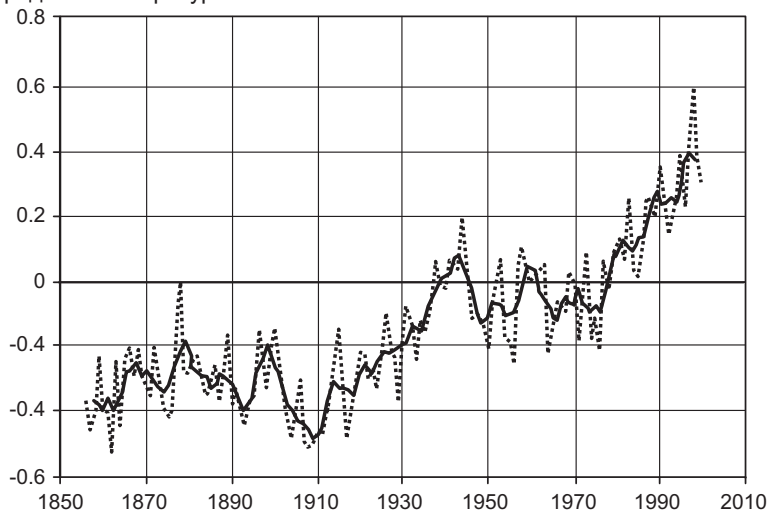
**Рис. 3.23.** Глобальная концентрация парниковых газов

Диоксид углерода, метан, закись азота и хлорфторуглероды уменьшают рассеивание тепла от Земли в космическое пространство, в результате температура на Земле растет. Концентрация этих газов в атмосфере (за исключением ХФУ, которые были впервые синтезированы в 1928 г., а в промышленных масштабах стали производиться с середины 1940-х гг.) росла примерно с 1800 г. (Источники: CDIAC; UNEP.)

Со спутников прекрасно видно, как в Северном полушарии уменьшаются ледовые и снеговые шапки. Арктический лед с каждым годом становится тоньше. Западные туристы, путешествующие на российском ледоколе к Северному полюсу, недавно обнаружили там открытую воду вместо льда. В период с 1980 по 1998 г. в мире было отмечено более 100 случаев «выцветания кораллов», когда рифы становились белыми и все живое на них вымирало, а ведь за весь предыдущий век таких случаев было только три... «Выцветание кораллов» — это резкая реакция экосистемы рифа, вызываемая необычным повышением температуры океанской воды\*.

\* См. отчет: WWF. Living Planet Report 1999. Gland, Switzerland: WWF, 1999. С. 8.

Изменение температуры, °C, в сравнении со средней температурой за 1961–1990 гг.



**Рис. 3.24.** Рост мировой температуры

Средняя глобальная температура за последнее столетие выросла на 0,6 °C. Линия, показанная пунктиром, отображает среднегодовые значения; сплошная линия рассчитана как усреднение за пятилетние периоды. (Источник: CDIAC.)

Даже некоторые экономисты (а уж они-то хорошо известны своим скептическим отношением к «сеющим панику» экологам) начинают признавать, что с атмосферой происходит что-то не то и что виной тому могут быть сами люди. В 1997 г. группа, насчитывавшая более 2000 экономистов (включая шесть Нобелевских лауреатов), сделала заявление:

---

«Данные свидетельствуют о явном воздействии человека на мировой климат. Как экономисты, мы уверены, что изменение мирового климата приведет к существенным экологическим, экономическим, социальным и геополитическим рискам, и меры, препятствующие этому, безусловно оправданны»\*.

---

Одна из причин растущей обеспокоенности экономистов — рост измеряемых экономических потерь от погодных катаклизмов. Он хорошо заметен, начиная с 1985 г. (рис. 3.25).

\* См. отчет: *Watson R. T. et al. Climate Change 2001: Synthesis Report, Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: IPCC, 2001. Материалы в сопровождении множества иллюстраций доступны на сайте [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch).*





**Рис. 3.25.** Потери мировой экономики от погодных катаклизмов

Последние два десятилетия XX в. были отмечены ростом экономических потерь от погодных катаклизмов. (Источник: Worldwatch Institute.)

Ни одно из приведенных наблюдений *не доказывает*, что происходящее изменение климата вызвано человеческой деятельностью. И даже если бы доказывало, все равно последствия изменения мирового климата для будущей деятельности человека или для экосистемы точно предсказать невозможно. Некоторые используют такое отсутствие однозначности для того, чтобы запутать проблему\*, поэтому очень важно пояснить, что же мы на самом деле знаем. В этом мы опираемся на мнение нескольких сотен исследователей и ученых, которые образовали при ООН Межправительственную группу экспертов по изменению климата (IPCC) и примерно каждые пять лет выпускают детальные отчеты\*\*.

- Точно установлено, что человеческая деятельность (особенно сжигание ископаемого топлива и сведение лесов) влияет на накопление в атмосфере парниковых газов.
- Точно установлено, что атмосферная концентрация диоксида углерода — основного парникового газа — экспоненциально

\* Ознакомиться с красочным представлением скептической точки зрения на вопросы изменения климата и другие проблемы окружающей среды можно по материалам: Lomborg, Environmentalist.

\*\* Необычайно информативный сайт: Climatic Research Unit at the University of East Anglia, Norwich, UK, [www.cru.uea.ac.uk](http://www.cru.uea.ac.uk).

растет. Концентрация  $\text{CO}_2$  отслеживалась десятилетиями с помощью прямых наблюдений, а данные по прошлым периодам получены из проб воздуха, взятых из образцов полярного льда с разных глубин.

- Парниковые газы удерживают тепло, которое в противном случае было бы рассеяно в космическом пространстве. Это свойство хорошо изучено, оно является следствием структуры молекул, которые поглощают излучение в определенном диапазоне длин волн.
- Поглощение тепла приводит к увеличению температуры Земли относительно обычных значений.
- Потепление будет распределяться неравномерно: на полюса придется больше, чем на экваториальную область. Поскольку погода и климат на Земле определяются в основном разностью температур между полюсами и экватором, в результате изменятся сила и направление ветров и океанских течений, а также объемы и распределение осадков.
- На потеплевшей Земле океан увеличится, уровень моря станет выше. Если потепление окажется достаточным для того, чтобы растопить полярные шапки, то уровень моря поднимется очень значительно, хотя это займет немало времени.

Существуют три соображения, которые придают этим выводам оттенок неопределенности. Во-первых, неизвестно, какой была бы мировая температура без человеческого воздействия. Если какие-либо долговременные климатологические факторы, не связанные с накоплением парниковых газов, и без того приводили к потеплению, то парниковые газы только усиливают этот эффект. Во-вторых, точно неизвестно, как именно изменятся температуры, ветра, течения, осадки, экосистемы и экономика человечества в каждой конкретной точке земного шара при потеплении.

В-третьих, неопределенность кроется и в циклах обратных связей. Круговорот углерода и круговорот энергии на планете Земля — процессы очень сложные. Свой вклад могут внести компенсирующие механизмы, циклы с отрицательной обратной связью, которые приводят к прекращению накопления парниковых газов или к стабилизации температуры. Один из таких механизмов уже работает: океаны поглощают примерно половину избыточной концентрации диоксида углерода, выделяемого в результате человеческой деятельности. Этого недостаточно для того, чтобы полностью остановить рост концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере, но хватает для того, чтобы замедлить его.

Однако могут сказаться и положительные обратные связи, способствующие дестабилизации: чем больше будет подниматься темпера-

тура, тем сильнее будут тенденции к дальнейшему росту. Например, поскольку потепление приводит к таянию снегов и льдов, поверхность Земли будет отражать в космическое пространство меньше солнечных лучей, и это еще больше усилит потепление. Если начнут оттаивать почвы в тундре, это приведет к высвобождению большого количества связанного в них метана, что, в свою очередь, приведет к еще большему потеплению и высвобождению еще большего количества метана.

Никто точно не знает, сколько положительных или отрицательных обратных связей проявится при увеличении концентрации парниковых газов в атмосфере и какие из них окажутся доминирующими. К счастью, в 1990-е гг. удалось достичь большого прогресса в научных исследованиях в этой области, и сейчас имитационное компьютерное моделирование способно с высокой точностью просчитывать последствия изменения климата\*. Полученный в результате «прогноз погоды на 2050 г.» вызывает большие опасения и способен привлечь внимание общественности.

---

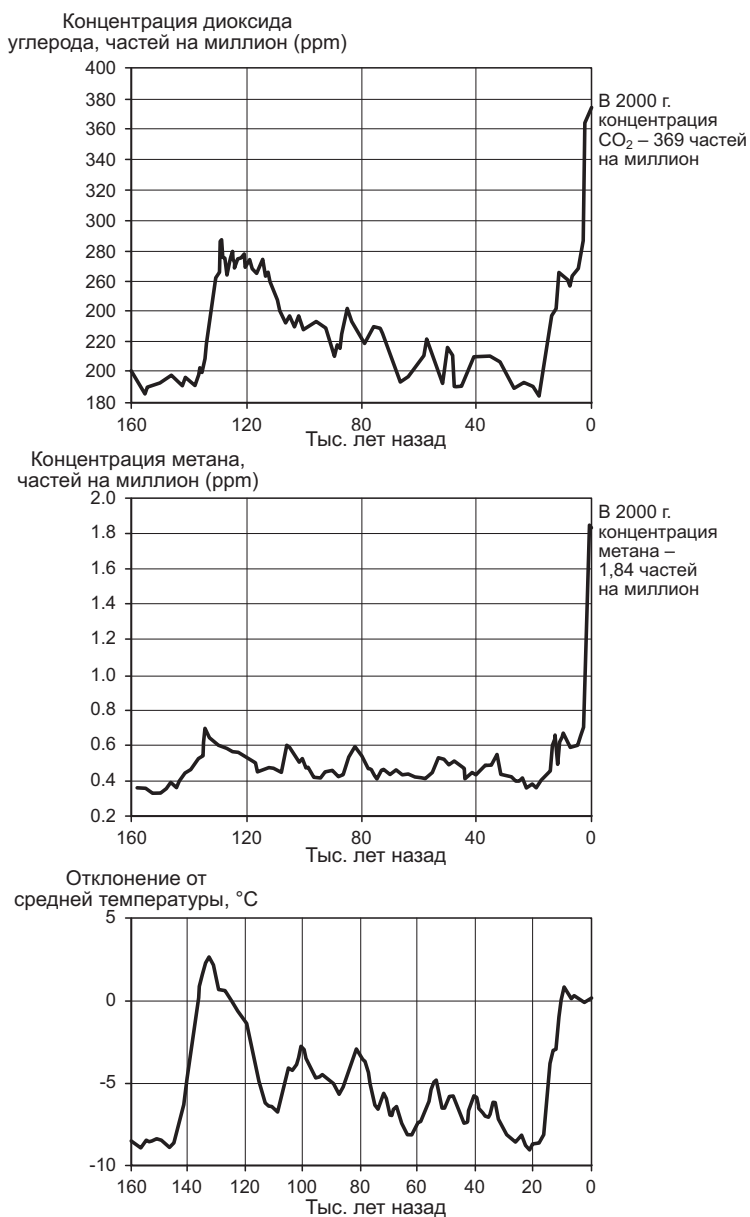
«Вопрос не в том, изменится ли климат в будущем из-за человеческой деятельности. Вопрос в том, *насколько* он изменится (масштабы), *где* (в каких регионах) и *когда* (с какой скоростью произойдет изменение). Ясно также, что изменение климата во многих частях света неблагоприятно повлияет на социально-экономический сектор (включая использование водных ресурсов, ведение сельского и лесного хозяйства, рыболовство и строительство жилья), на экологические системы (в особенности коралловые рифы) и здоровье людей (в первую очередь представляют опасность инфекционные заболевания). В третьем оценочном отчете Межправительственной группы экспертов по изменению климата (Third Assessment Report) было сделано заключение о том, что изменение климата так или иначе затронет большинство людей на планете»\*\*.

---

Ученым достоверно известно, что в истории Земли бывали температурные скачки и что планета не так-то быстро возвращалась к прежнему состоянию, сглаживая перепады. Скачки были довольно хаотичными. На рис. 3.26 показан период продолжительностью 160 000 лет: предполагаемая температура Земли и концентрация

\* См., например, материал: Global Warming. Stormy Weather // Time. 2000. November 13. С. 35–40. В нем содержатся региональные прогнозы погоды в Европе до 2050 г.

\*\* См.: Watson et al. Climate Change 2001. См. также материалы четвертого отчета IPCC Fourth Assessment Report на сайте [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch).



**Рис. 3.26.** Парниковые газы и средняя глобальная температура за прошедшие 160 000 лет

Анализ образцов льда показывает, что в прошлом на Земле случались относительно резкие скачки температур (ледниковые и межледниковые периоды). Концентрации диоксида углерода и метана в атмосфере менялись одновременно с изменением температуры. Современные концентрации этих газов значительно превышают даже те уровни, которые царили на планете задолго до появления на ней человека. (Источник: CDIAC.)

двух парниковых газов — диоксида углерода и метана\*. Изменения температуры и концентрации газов происходили одновременно, и точно определить, что из них причина, а что следствие, затруднительно. Скорее всего, эти факторы служат причинами друг для друга за счет сложных обратных связей.

Но самая важная информация на рис. 3.26 заключается в том, что *существующие на сегодня* концентрации диоксида углерода и метана *выше, чем 160 000 лет назад*. Какими бы ни были последствия, сейчас уже точно установлено, что человеческая деятельность переполняет стоки за счет выбросов парниковых газов гораздо быстрее, чем планета может с ними справляться. Налицо значительное нарушение равновесия в глобальной атмосфере, и с каждым днем ситуация ухудшается по экспоненте.

Процессы, запускаемые нарушением равновесия, по человеческим меркам могут считаться медленными. Чтобы последствия проявились в виде таяния льда, подъема уровня моря, изменения океанических течений, усиления штормов, изменения в распределении осадков и направлении миграций насекомых, птиц и млекопитающих, должны пройти десятилетия. Но вполне вероятно и то, что климат может измениться резко, если сработают положительные обратные связи, о которых мы можем даже не знать. В отчете комитета Национальной академии наук США за 2002 г. сказано:

---

«Недавние научные исследования показали, что повсеместно происходит значительное изменение климата, причем оно идет поразительно быстрыми темпами. Так, за последнее десятилетие температура в Северной Атлантике выросла на столько же, что и за весь период со времен последнего оледенения, и это сопровождалось значительным изменением климата на большей части поверхности земного шара... Резкие изменения климата в прошлом до сих пор объяснены не до конца»\*\*.

---

\* Эти данные получены из анализа проб льда, высверленных с различных глубин антарктического ледяного щита. Льды на полюсах накапливаются слой за слоем в течение многих тысяч лет, начиная с отдаленных геологических эпох. В каждом образце сохраняются пузырьки воздуха соответствующей эпохи. Изотопный анализ льда позволяет датировать пробы, и это дает ключ к пониманию того, какие температуры были в те времена на планете. Непосредственный анализ проб воздуха из пузырьков позволяет определить процентное содержание в них диоксида углерода и метана.

\*\* См. материалы: Committee on Abrupt Climate Change, Abrupt Climate Change — Inevitable Surprises. Washington, DC: National Academy Press, 2002. С. 1.

Независимо от того, быстрыми будут эти изменения или медленными, мы знаем, что отрицательные последствия будут сказываться веками, если не тысячелетиями.

Негативное воздействие на окружающую среду в результате человеческой деятельности, которое мы уже обсудили в этой главе, вовсе не является необходимым. Его вполне можно избежать. Загрязнение теперь становится не признаком прогресса, как было раньше, а признаком неэффективности и неблагоразумия. Промышленники это уже осознали и внедряют методы уменьшения выбросов и экономии ресурсов, модернизируя все этапы производственных процессов, от начала и до конца. Вместо методов очистки «на конце трубы» (уменьшения выбросов от действующих процессов производства) промышленники переходят к «чистому производству» (создавая такие виды продукции и такими способами, чтобы минимизировать выбросы загрязнений и использование ресурсов) и «промышленной экологии» (когда потоки на выходе из одной фабрики служат сырьем для другой). Производители микросхем вкладывают деньги в ионообменные колонны, позволяющие улавливать тяжелые металлы, и в результате помимо значительной экономии от повторного использования металлов получают еще и меньшие счета за воду, и более выгодную ставку страхования. Производственные компании уменьшают выбросы загрязнителей в атмосферу и гидросферу; снижается потребность в воде и объемы твердых отходов; в год на эксплуатационных расходах экономятся сотни миллионов долларов. Химические заводы решают снизить выбросы  $\text{CO}_2$ , чтобы уменьшить будущие платежи и штрафы за производство отходов и одновременно существенно сэкономить на расходах на энергию.

Большая часть таких мер, как это ни покажется удивительным, дает прямую выгоду даже в кратковременной перспективе, не говоря уж об улучшении связей с общественностью, которое этому сопутствует. Экономическая выгода, без сомнения, служит мощным стимулом для дальнейшего снижения экологической нагрузки в расчете на единицу потребления.

Если увеличить вдвое средний срок службы продукции, используемой в экономике человечества, если вдвое больше материалов подвергать переработке и повторному использованию, если для производства продукции использовать вдвое меньше материалов, чем раньше, то все это позволит уменьшить материальные потоки в сис-

теме в 8 раз\*. Если использовать энергию эффективнее, если эксплуатировать возобновимые источники энергии, если землю, воду, продовольствие и древесину использовать без производства отходов и одновременно восстанавливать леса, то это остановит накопление в атмосфере парниковых газов и многих других видов загрязнителей.

## За пределами роста

Общая оценка... показывает, что существующее использование природных ресурсов и нагрузка на окружающую среду («экологическое обслуживание») существенно превышают поддерживающую емкость Земли в долгосрочной перспективе... Если бы все жители планеты наслаждались такими же экологическими стандартами, что и граждане США, то нам пришлось бы иметь три планеты вместо одной, чтобы удовлетворить мировую потребность в сырье с использованием существующих технологий... Чтобы приспособиться к грядущему росту численности населения и экономического производства в ближайшие четыре десятилетия, нам потребуется от шести до двенадцати дополнительных планет.

*Матис Вакернагель и Уильям Риз, 1996 г.*

Факты, которые мы приводим в этой главе, а также гораздо более подробные данные, содержащиеся в различных глобальных базах данных, и ежедневные отчеты в средствах массовой информации показывают, что человеческая экономика использует мировые источники и стоки неустойчиво. Почвы, леса, поверхностные и грунтовые воды, болота, атмосфера и биоразнообразие в природе подвергаются опасности и постепенно деградируют. Даже в тех регионах, где возобновимые источники выглядят стабильными (как, например, леса в Северной Америке или почвы в Европе), на самом деле их качество, разнообразие и состояние вызывают большие сомнения. Химический состав земной атмосферы меняется, причем масштабы этих изменений уже привели к ощутимому изменению климата.

## Прожигать капитал вместо того, чтобы жить на проценты

Если бы истощение затронуло только один или несколько источников, в то время как остальные оставались стабильными или даже по-

\*

Эти перспективные возможности подробно излагаются в работе: *Weizsacker E. von, Lovins A., Lovins L. H. Factor Four: Doubling Wealth, Halving Resource Use. London: Earthscan, 1997.* Книга издана на русском языке: *Вайцзеккер Э., Ловинс Э., Ловинс Л. Фактор четыре. Затрат половина, отдача двойная. Новый доклад Римскому клубу. 2-е изд. М.: Академия, 2000. 400 с.*

казывали рост запасов, то было бы логичным продолжить привычный рост за счет замены истощившегося ресурса на какой-нибудь другой, хотя, конечно, у такой замены были бы определенные ограничения. Если бы переполнение касалось только части стоков, человечество могло бы заменить один сток (например, океан) другим (например, атмосферой). Но поскольку переполняется сразу множество стоков и истощается сразу множество источников, поскольку экологический след человечества превысил уровень самоподдержания, нас может спасти только принципиальное изменение поведения.

Существующие пределы, если разобраться, не являются пределами экономической деятельности человека и не измеряются как валовой мировой продукт. Пределы ограничивают экологический след, который напрямую зависит от человеческой деятельности. В кратковременной перспективе эти пределы преодолимы. Выйти за них — вовсе не значит врезаться в стену с разбега. Самый простой пример — рыболовство: если улов за год существенно превысил уровень воспроизводства, значит, рыбные запасы истощатся и улова больше не будет. Точно так же обстоят дела и с выбросами парниковых газов: какое-то время они растут, даже после выхода за пределы устойчивости, и лишь после некоторого запаздывания отрицательные обратные связи от изменения климата вынуждают нас уменьшить выбросы. К сожалению, пока получается так: чтобы предпринять действия в правильном направлении, человек всегда сначала выходит за пределы, и лишь потом (самостоятельным волевым усилием или под давлением природных факторов) пытается вернуться в область устойчивости.

Множество людей признают, что на локальном уровне нагрузка на окружающую среду превышает локальные пределы устойчивости. Город Джакарта выбрасывает в воздушную среду больше загрязнений, чем могут перенести человеческие легкие. Леса на Филиппинах сведены практически полностью. Почвы на Гаити истощены в такой степени, что под ними проглядывают скальные породы. Рыболовецкие артели, промышлявшие треску на Ньюфаундленде, распущены, потому что им нечего больше ловить. Парижане летом должны придерживаться дополнительного ограничения скорости, чтобы уменьшить загрязнение воздуха от автомобилей. Несколько европейских стран летом 2003 г. пережили резкий скачок смертности, когда тысячи людей скончались преждевременно из-за рекордной жары, и такие ситуации повторяются все чаще. Рейн долгие годы загрязнялся настолько сильно, что даже сейчас ил, поднятый драга-



ми из заливов в Нидерландах, надо хранить с такими же предосторожностями, что и ядовитые отходы. Лыжники, надеявшиеся отдохнуть в Осло в 2001 г., едва могли найти снег, пригодный для катания.

В случае с некоторыми проблемами (как, например, было с ХФУ, которые приводят к истощению озонового слоя) мировая общественность не только признала факт выхода за пределы, но и приложила согласованные международные усилия к тому, чтобы исправить ситуацию. Сейчас предпринимаются попытки ограничить выбросы парниковых газов, хотя им и препятствуют эгоизм и недальновидность правительств, больше обеспокоенных краткосрочными интересами тех, кто дал им деньги на предвыборную кампанию (а эти люди тоже эгоистичны и недальновидны). Киотский протокол и то, что с ним стало, — яркий тому пример.

И все равно *общие проблемы* выхода за пределы сейчас обсуждаются недостаточно широко. Нет давления, которое заставило бы в срочном порядке принимать технические меры по повышению эффективности. Практически нет готовности и желания что-нибудь сделать с причинами роста численности населения и капитала. Отсутствие внимания к проблемам выхода за пределы еще можно было простить в 1987 г. Тогда даже информированные специалисты из Международной комиссии ООН по окружающей среде и развитию, изучавшие мировые тенденции и признававшие их «несколько неустойчивыми», не нашли в себе сил сказать, что *человечество уже вышло за пределы*. И уж тем более они не задавались всерьез вопросом, что с этим надо делать. Может быть, просто не могли поверить, что это правда. Но сегодня, когда на дворе уже новое тысячелетие, отрицать очевидное невозможно. Выход за пределы — это ужасная реальность, а игнорировать его последствия — непростительная глупость.

Причины, по которым о проблеме выхода за пределы стараются не говорить вслух, понять несложно — они чисто политические. Любое упоминание о снижении роста тут же вызывает споры о распределении ресурсов (это большая тема) и заставляет искать ответственных за создавшееся положение. Образно говоря, любой богатый человек создает нагрузку на окружающую среду больше, чем любой бедняк. Один немец оставляет экологический след в 10 раз больше, чем один житель Мозамбика. На одного русского приходится столько же добытых природных ресурсов, сколько и на одного немца, но при этом его уровень жизни в России на порядок ниже, чем в Германии. Если мир в целом вышел за пределы, то кто дол-

жен за это отвечать? Расточительные богатые, многочисленные бедные или неэффективно работающие бывшие социалистические страны? Когда дело касается всей планеты, отвечать тоже должны все.

---

«Извечная нищета большинства обитателей планеты и чрезмерное потребление меньшинства — две основные причины деградации окружающей среды. Направление, в котором движется мир, неустойчиво, и принятие мер откладывать уже нельзя»\*.

---

Экологи часто используют формулу IPAT (Impact, Population, Affluence, Technology, т. е. Нагрузка, Население, Благополучие, Технологии).

$$\text{Экологическая нагрузка (I)} = \text{Население (P)} \times \\ \times \text{Уровень благосостояния (A)} \times \text{Технологии (T)}.$$

Экологическая нагрузка (I), возлагаемая любой страной или регионом на глобальные источники и стоки, зависит от численности населения (P), умноженной на уровень достатка (A) и умноженной на уровень технологического развития (T), поддерживающего этот достаток. Чтобы уменьшить экологический след человечества, необходимо, чтобы каждое общество приняло меры к уменьшению самого большого из этих множителей. В странах Юга самый значимый фактор — численность населения (P), в странах Запада — уровень благосостояния (A), в то время как в Восточной Европе — уровень развития технологий (T).

Области, в которых можно добиться улучшений, просто поражают воображение. Если каждый множитель из уравнения IPAT разбить на составляющие и расписать подробно, сразу станет понятно, как много путей существует для уменьшения экологической нагрузки и каких значительных результатов можно добиться (табл. 3.3)\*\*.

---

\* Цитируется по материалам: UNEP, Global Environmental Outlook 2000. London: Earthscan, 1999.

\*\* Это адаптированное представление информации, изначально приведенной Эймори Ловинсом.

Таблица 3.3

Воздействие на окружающую среду в зависимости от численности населения, уровня благосостояния и развития технологий

| Население                                                        | Благосостояние                                         |                                                                 | Технологии                                                      |                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| население                                                        | $\times \frac{\text{капитал}}{\text{на человека}}$     | $\times \frac{\text{материальное потребление}}{\text{капитал}}$ | $\times \frac{\text{энергия}}{\text{материальное потребление}}$ | $\times \frac{\text{нагрузка на среду}}{\text{энергия}}$                                      |
| Пример                                                           |                                                        |                                                                 |                                                                 |                                                                                               |
| население                                                        | $\times \frac{\text{стаканчиков}}{\text{на человека}}$ | $\times \frac{\text{вода + мыло}}{\text{стаканчиков в год}}$    | $\times \frac{\text{ГДж или кВт·часы}}{\text{кг воды + мыло}}$  | $\times \frac{\text{CO}_2, \text{NO}_x, \text{использование земли}}{\text{ГДж или кВт·часы}}$ |
| Области применения                                               |                                                        |                                                                 |                                                                 |                                                                                               |
| Планирова-<br>ние семьи                                          | Стоимость                                              | Срок службы<br>изделий                                          | Эффектив-<br>ность конеч-<br>ного использо-<br>вания            | Наименее за-<br>грязняющие<br>источники                                                       |
| Грамотность<br>среди жен-<br>щин                                 | Цены                                                   | Выбор мате-<br>риалов                                           | Эффектив-<br>ность измене-<br>ний                               | Выбор<br>масштаба                                                                             |
| Социальные<br>программы                                          | Полные<br>издержки                                     | Продукция<br>с малой<br>материало-<br>емкостью                  | Эффектив-<br>ность распре-<br>деления                           | Выбор<br>места разме-<br>щения                                                                |
| Роль<br>женщин                                                   | Что мы<br>хотим?                                       | Переработка<br>и повторное<br>использова-<br>ние                | Интеграция<br>в общую<br>систему                                | Технологии,<br>снижающие<br>степень за-<br>грязнения                                          |
| Землевладе-<br>ние                                               | Сколько<br>нам доста-<br>точно?                        | Восстановле-<br>ние и утили-<br>зация                           | Реорганиза-<br>ция процес-<br>сов                               | Возмещение<br>ущерба, нане-<br>сенного окру-<br>жающей среде                                  |
| Примерная величина изменений в долговременной перспективе (крат) |                                                        |                                                                 |                                                                 |                                                                                               |
| ~2-кратн.                                                        | ?                                                      | ~3–10-кратн.                                                    | ~5–10-кратн.                                                    | $\sim 10^2$ –<br>$10^{3+}$ -кратн.                                                            |
| Временные рамки основных изменений                               |                                                        |                                                                 |                                                                 |                                                                                               |
| ~50–100 лет                                                      | ~0–50 лет                                              | ~0–20 лет                                                       | ~0–30 лет                                                       | ~0–50 лет                                                                                     |

Уровень благосостояния определяется высоким уровнем потребления — например, количеством часов, проведенных перед телевизором, за рулем автомобиля или просто в тиши комфортабельной комнаты. Экологическая нагрузка в зависимости от уровня достатка выражается в виде потребления материальных потоков, энергии, а также связанных с этим выбросов в окружающую среду. Например, если кто-то выпивает в день три чашечки кофе, нагрузка на среду будет зависеть от того, какая посуда при этом использовалась — пластиковые одноразовые стаканчики или традиционные керамические чашки. Использование многоразовой посуды влечет за собой расход моющих средств и воды, а также небольшой поток новой посуды, чтобы заменить ту, что разобьется за год. Если же человек использует пластиковые стаканчики, то поток отходов включает в себя все стаканчики, использованные за год, к тому же необходимо учесть нефть и химикаты, израсходованные для их производства и транспортировки к месту использования.

Влияние технологии определено в табл. 3.3 как количество энергии, необходимое для создания и обеспечения каждого материального потока, умноженное на экологическую нагрузку, приходящуюся на единицу энергии. Энергия необходима для добычи глины, которая пойдет на изготовление керамической посуды, для обжига этой посуды, для доставки готовой продукции в магазины и дома потребителей, даже для нагрева воды, которой будут мыть эти чашки. Энергия необходима для того, чтобы найти и добыть нефть, из которой будут делать пластиковые стаканчики, чтобы перевезти эту нефть на перерабатывающий завод, чтобы там получить из нее полимер, сформовать стаканчики, упаковать и доставить их сначала в магазин, затем потребителям, а после использования — на мусорную свалку. Каждый тип энергии дает ту или иную нагрузку на окружающую среду. Экологический след можно изменить технологическими средствами — за счет борьбы с загрязнениями, повышения энергоэффективности или переключения на другие источники энергии.

Изменение любого фактора из табл. 3.3 приводит к изменению экологической нагрузки и либо возвращает человеческую экономику ближе к пределам окружающей среды, либо уводит ее от них еще дальше. Уменьшение численности населения или количества сырья, расходуемого каждым человеком, поможет удерживать систему в рамках устойчивости планеты. Тому же способствует и более высокая энергетическая эффективность: на единицу потребления расходуется меньше энергии или сырья, а значит, и выбросов будет меньше. В таблице показаны основные способы уменьшения каждого из

множителей в уравнении, а также примерная оценка: во сколько раз каждый из факторов может уменьшить совокупную экологическую нагрузку и за какой период.

Из таблицы становится понятно, что перед нами огромное количество путей. Просто поразительно, насколько можно уменьшить воздействие человека на глобальные источники и стоки. Даже если в каждой области будут достигнуты небольшие улучшения, совокупный эффект позволит уменьшить нагрузку на окружающую среду не просто в разы, а *в сотни раз или даже больше*.

Если способов сделать это так много, то почему же у нас возникают проблемы с реализацией даже малой толики из них? И что произошло бы, если бы нам удалось принять меры? Что могло бы измениться, если бы численность населения, уровень потребления и технологическая «прожорливость» обратились вспять? Как эти факторы влияют друг на друга? Что произойдет, если экологический след снизится благодаря технологическим инновациям, но при этом численность населения и капитал продолжают расти еще больше? Что будет, если нагрузка на окружающую среду не снизится вообще?

Чтобы ответить на эти вопросы, уже нельзя рассматривать источники и стоки по отдельности, как мы делали в этой главе. Необходимо оценивать экологическую нагрузку в целом, учитывая влияние на нее и численности населения, и капитала, а также взаимное влияние численности населения и капитала друг на друга. Чтобы сделать это, от статического анализа факторов по отдельности нужно перейти к анализу динамики всей системы.

## Модель *World3*: динамика роста в конечном мире

---

Если современные оценки роста численности населения подтвердятся, а масштабы человеческого воздействия на планету останутся прежними, то наука и технологии не смогут предотвратить ни необратимую деградацию окружающей среды, ни грядущее обнищание большей части населения планеты.

*Лондонское королевское общество  
и Национальная академия наук США, 1992 г.*

Факторы, ответственные за рост численности населения и капитала, включают в себя множество составляющих, которые могут усиливать или ослаблять друг друга. Коэффициент рождаемости снижается быстрее, чем ожидалось, однако численность населения продолжает расти. Многие люди становятся богаче, им требуется все больше промышленной продукции для потребления, но при этом они хотят, чтобы загрязнение окружающей среды уменьшалось. Потоки энергии и сырья, необходимые для промышленного роста, расходуют невозобновимые ресурсы и приводят к истощению возобновимых источников. И одновременно постоянно развиваются новые технологии, открываются новые запасы, сырье используется все более эффективно. Любое общество испытывает потребность в капитале: он необходим для того, чтобы делать инвестиции в поиск новых ресурсов, в выработку дополнительной энергии, в борьбу с загрязнением окружающей среды, в образование, здравоохранение и другие социальные сферы. Но вместе с тем тот же капитал необходим для увеличения производства потребительских товаров — спрос на них постоянно растет.

Как взаимодействуют эти факторы и к чему это приведет в ближайшие десятилетия? Чтобы разобраться в этом, необходима модель, причем гораздо более сложная, чем мы обычно себе представляем. Эта глава посвящена системе *World3* — компьютерной моде-

ли, которую мы создали и использовали для этой книги. Здесь мы описываем все основные подсистемы, образующие структуру модели *World3*, и даем основные выводы о развитии событий в XXI в., которые она позволила нам сделать.

## Назначение и структура модели *World3*

Всем хочется точно знать, что ждет нас в будущем. Тем не менее, когда кто-нибудь предлагает модель для изучения будущего, это часто вызывает непонимание и чувство разочарования. Мы столкнулись с такой реакцией сразу же после опубликования первого издания книги более 30 лет назад. Эту проблему хорошо иллюстрирует отрывок из фантастического романа — фрагмент беседы Селдона, разработчика психоисторической модели, с императором.

---

— Мне дали понять, что вы верите в возможность предвидения будущего.

Селдон неожиданно почувствовал себя усталым. Ему показалось, что теперь его теорию будут постоянно ошибочно интерпретировать. Возможно, ему не следовало представлять доклад на рассмотрение. Он пояснил:

— Не совсем так. То, что я сделал, гораздо более ограничено... Я сделал попытку показать... что существует возможность выбора начала отсчета и принятия определенных допущений, которые приведут к подавлению хаоса. Тем самым предсказание будущего станет возможно, не во всех деталях, конечно, но в достаточно широких пределах. И не с полной уверенностью, а с определенной степенью вероятности.

Император, очень внимательно слушавший, поинтересовался:

— Но разве это не означает, что вы показали — как можно предвидеть будущее?\*

---

Наша работа перекликается с романом Азимова: мы используем модель *World3*, чтобы создать сценарии, которые позволят «в достаточно широких пределах» оценить будущее. Чтобы недопониманию не осталось места, сначала стоит дать несколько определений и замечаний о моделях.

※

В оригинале цитируется книга: *Asimov I. Prelude to Foundation*. New York: Doubleday, 1988. С. 10. Роман Айзека Азимова «Прелюдия к основанию» многократно издавался на русском языке; фрагмент относится к изданию: *Азимов А. Прелюдия к основанию* / пер. с англ. О. Пономаревой. СПб.: Советский композитор, 1992. 480 с.

Модель — упрощенное представление реальности. Если она до мельчайших подробностей отражает реальность, тогда в ней нет смысла и она полностью бесполезна. Например, карта дорог не будет нужна водителям, если в ней будет представлено подробное описание всех деталей ландшафта. Ее задача — сосредоточиться на дорогах и не принимать во внимание, например, год постройки зданий или виды растений, встречающихся по пути. Небольшая физическая модель самолета может использоваться для анализа воздушных потоков в аэродинамической трубе, но она не даст никакой информации об удобстве пассажиров в салоне в ходе полета. Городские пейзажи, выставленные в галереях, — это графические модели, отражающие настроение или физические особенности ландшафта, но они не отвечают на вопросы о стоимости или теплоизоляции изображенных зданий. Чтобы узнать эти параметры, необходим другой тип модели — архитектурные и строительные чертежи, поэтажные планы зданий. Поскольку модели — это всегда упрощения, они не могут быть идеальными копиями реальности. Ни одна модель не может быть истинной на 100%.

Модель всегда создается с какой-то конкретной целью, и она должна быть полезна именно для этой цели — например, чтобы ответить на ряд конкретных вопросов. При использовании модели надо всегда помнить о ее ограничениях и о том, что невозможно ответить на все вопросы. Мы создавали систему *World3* таким образом, чтобы она дала ответы на четко сформулированные вопросы о физическом росте на планете в долговременном масштабе. И это означает, что на многие из вопросов, имеющих личную важность для отдельных людей, модель *World3* ответить не в состоянии.

Модели могут принимать самые разные формы — существуют так называемые мысленные модели, речевые, графические, математические и физические. Многие слова, использованные в этой книге, — речевые модели. *Рост, население, лес и вода* — всего лишь символы, речевые представления довольно сложных понятий. Графики, диаграммы, схемы, карты и фотографии относятся к графическим моделям, они отображают на листе бумаги наличие и расположение объектов. Модель *World3* — математическая модель, основанная на наборе математических уравнений, описывающих связи между факторами. Чтобы понять сущность роста и пределов, мы не использовали физические модели. Хотя для других целей, наверное, они были бы полезны — например, для создания биоценозов или разработки новой промышленной продукции.

Мысленные модели — абстракции, которые мы можем представить себе умозрительно. Они неформальны, ими нельзя напрямую



поделиться с другими. В отличие от них, формальные модели существуют в виде, к которому можно получить непосредственный доступ. Другие люди могут увидеть эту модель, а иногда и изменить. Использование обоих типов моделей должно взаимно дополнять друг друга. Формальные модели позволяют узнать больше о существующей реальности и о мысленных моделях других людей, в результате наши собственные мысленные модели становятся богаче и разнообразнее. Если мы узнаем что-то новое, то можем создавать все более сложные формальные модели, и так до бесконечности. Авторы проходили по этому кругу снова и снова на протяжении тридцати с лишним лет, и в результате родилась эта книга.

Чтобы написать ее, мы использовали слова, данные, графики и компьютерные сценарии. Эта книга — модель того, что мы знаем, и ее создание только увеличило объем наших знаний. Текст, который вы сейчас читаете, родился в результате наших попыток перенести на бумагу знания и представления о физическом росте на планете в ближайшее столетие. И все же следует помнить: книга — всего лишь модель, упрощенное представление реального мира.

Естественно, это создает определенные сложности. Мы будем говорить о формальной модели, имитационном компьютерном моделировании мировой системы. Чтобы модель могла принести пользу, мы будем сравнивать ее с «реальным миром». Вопрос только в том, что понимать под этим «реальным миром» — на этот счет одинаковых мнений нет ни среди нас, авторов, ни среди наших читателей. Все мы оперируем собственными мысленными моделями, своими представлениями о реальности, которые создаются как на основе объективной информации, что мы получаем о мире, так и на основе субъективных ощущений и опыта. Именно мысленные модели позволили виду *Homo sapiens* стать столь успешным. И они же создавали массу проблем на протяжении существования человечества. Но какими бы ни были сильные и слабые стороны человека, наши мысленные модели выглядят чрезвычайно примитивными в сравнении с огромной, сложной, постоянно меняющейся Вселенной, которую они призваны описать для нас.

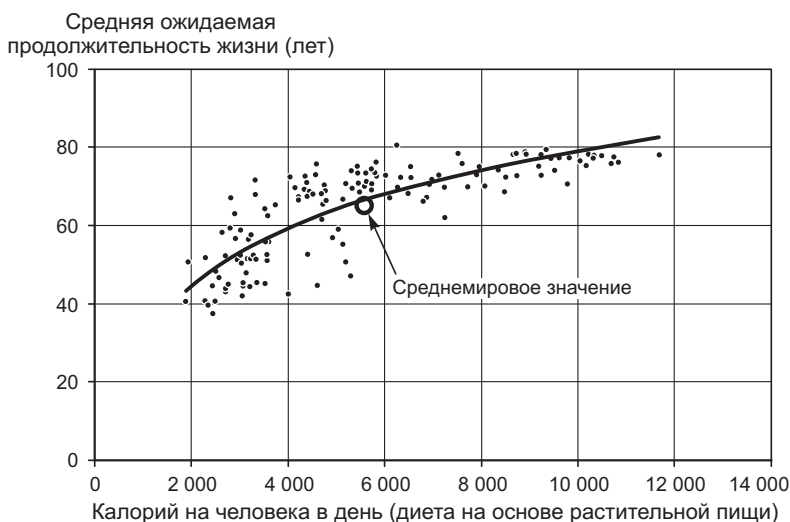
Чтобы лишний раз напомнить и себе самим, и читателям о зависимости любого человека от моделей, мы всегда берем в кавычки тот «реальный мир», с которым сравнивается модель *World3*. То, что мы называем «реальным миром» или «реальностью» — на самом деле просто общие мысленные модели авторов этой книги. Слово *реальность* никогда не может означать ничего, кроме мысленной модели того, кто это слово произнес. Иначе и быть не может. Мы только хотим обратить ваше внимание на то, что изучение компьютерной

модели позволило нашим мысленным моделям стать более точными, более глубокими, более доскональными, чем когда-либо. В этом и состоит преимущество компьютерных моделей: они способствуют строгости, логичности и точности изложения, а ведь за счет только мысленных моделей достичь этого практически невозможно. Вдобавок, компьютерные модели дают чрезвычайно богатую основу для совершенствования мысленных моделей.

Модель *World3* довольно сложна, но ее основную структуру понять нетрудно. Она отслеживает уровневые переменные (такие как численность населения, промышленный капитал, концентрация загрязнений в окружающей среде, площадь возделываемых земель). В модели эти уровневые переменные зависят от потоков, способствующих увеличению или уменьшению их уровня: поток рождаемости и смертности в случае численности населения; инвестиции и амортизация в случае любого капитала; создание и разложение выбросов в случае загрязнения окружающей среды; эрозия и восстановление пахотных земель, а также изъятие земель под застройку и промышленные нужды — в случае возделываемых площадей. На данный момент в мире обрабатывается только часть пахотных земель. Производство обрабатываемых земель на их среднюю урожайность позволяет рассчитать производство продовольствия. Если разделить его величину на численность населения, получим производство продуктов питания на душу населения. Если количество продовольствия на душу населения опускается ниже определенной (критической) величины, начинает расти смертность.

Если рассматривать элементы и связи в модели *World3* по отдельности, то все они кажутся прямыми и однозначными. Например, модель принимает во внимание некоторую инерцию при увеличении численности населения и инерцию при накоплении загрязнений в окружающей среде. В ней учитываются продолжительный срок службы производственных мощностей и неоднозначность в распределении капитала по различным направлениям. Модель уделяет особое внимание тому, сколько времени занимает то или иное изменение, каково запаздывание по потокам, насколько медленно протекают физические процессы. Она включает в себе большое, даже очень большое количество обратных связей. Они замыкают цепи причин и следствий, в которых сам элемент часто является причиной собственного будущего поведения. Изменение численности населения, например, может привести к экономическим изменениям. Изменения в производительности экономики, в свою очередь, могут привести к подвижкам в структуре населения, поскольку они влияют на коэффициенты рождаемости и смертности. Циклы обратной связи делают динамику поведения модели *World3* очень сложной.

Еще одна особенность модели — *нелинейность* взаимосвязей. Такие взаимосвязи нельзя отобразить прямой линией, они не вызывают пропорциональных изменений во всей области значений. Если  $A$  воздействует на  $B$ , то при линейной взаимосвязи верно следующее утверждение: если удвоение  $A$  вызывает удвоение  $B$ , то уменьшение  $A$  в 2 раза вызывает уменьшение  $B$  тоже вдвое. Увеличение  $A$  в 5 раз вызовет пятикратный рост  $B$ . Линейные зависимости генерируют поведение, которое легко понять и спрогнозировать. Но в «реальном мире» линейность встречается очень редко. Вот пример: в модели *World3* мы должны учесть взаимосвязь производства продовольствия на душу населения с ожидаемой продолжительностью жизни. Одна зависимость между этими параметрами представлена на рис. 4.1. Если людям, которые постоянно недоедают, дать достаточное количество продовольствия, их продолжительность жизни существенно возрастет. Страны, которым удалось удвоить ежедневное потребление продовольствия с 2000 до 4000 калорий на человека (диета на основе растительной пищи), могут достичь увеличения средней ожидаемой продолжительности жизни примерно на 50% —

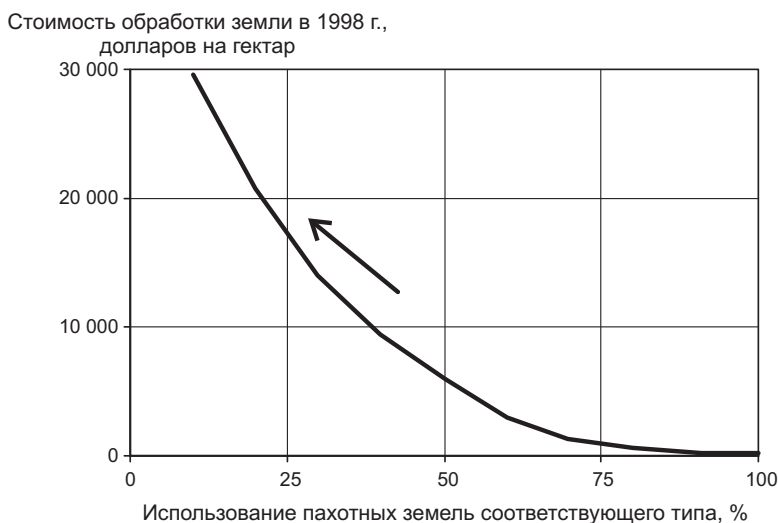


**Рис. 4.1.** Питание и ожидаемая продолжительность жизни

Ожидаемая продолжительность жизни населения — нелинейная функция от количества потребляемого продовольствия. Точки на графике отображают данные по странам мира на 1999 г. — уровень питания (выражаемый в калориях растительной пищи на человека в день) и среднюю продолжительность жизни. Если калории получены за счет животной пищи, то они пересчитываются с коэффициентом 7, поскольку для производства одной калории животной пищи требуется примерно 7 калорий растительной. (Источники: FAO; UN.)

от 40 до 60 лет. Однако если снова удвоить потребление продуктов питания и довести его до 8000 калорий в день, это даст уже меньшее увеличение продолжительности жизни — возможно, всего на 10 дополнительных лет. В какой-то момент дальнейший рост душевого потребления пищи приведет даже к уменьшению продолжительности жизни.

В «реальном мире» такие нелинейные связи встречаются повсюду. Пример еще одной нелинейной взаимосвязи, использованной в модели *World3*, показан на рис. 4.2: стоимость обработки новых сельскохозяйственных угодий и количество уже освоенных пахотных земель соответствующего типа. Мы предположили, что первые фермеры заняли самые плодородные земли с наилучшим доступом к воде, потому затраты на ведение сельского хозяйства на них были минимальными. Это отображено в крайней правой части графика, где почти все 100% таких пахотных земель уже давно взяты в оборот. Но по мере вовлечения в сельское хозяйство все большего количества земли (при смещении в левую часть графика) их качество становится хуже: они слишком сухие или, наоборот, слишком влажные; слой почвы может быть тоньше, чем надо; температуры могут быть не слишком благоприятными для возделывания культурных растений. Затраты на обработку таких земель выше. В соответствии



**Рис. 4.2.** Затраты на обработку новых сельскохозяйственных земель

Модель *World3* полагает, что обработка новых сельскохозяйственных угодий требует тем больших затрат, чем меньше остается потенциально пахотных земель, еще не находящихся в обороте. (Источники: D.L. Meadows et al.)

с принципами классической экономики (самая дешевая продукция потребляется в первую очередь) модель *World3* полагает, что чем позже земли взяты в сельскохозяйственное пользование, тем дороже обходится их обработка, причем затраты растут нелинейно.

Один параметр влияет на другой, это приводит к изменению, в результате которого он меняется еще больше, и тут вместо пропорционального эффекта мы получаем либо значительно больший эффект, либо его отсутствие, а иногда зависимость вообще меняется на обратную. Из-за таких нелинейностей и в «реальном мире», и в модели *World3* порой происходят очень неожиданные события. Чуть позже мы еще вернемся к этому вопросу.

Запаздывания, нелинейности и циклы обратной связи в модели *World3* делают ее динамику сложной, но система по-прежнему представляет собой упрощение реальности. Она не проводит различия между разными частями света, не представляет себе отдельно богатых и бедных. Загрязнение в модели рассчитано в очень сильном упрощении. В реальной жизни производятся тысячи самых разных загрязнителей, они поступают в окружающую среду с разными скоростями, влияют на растительный и животный мир сотнями способов. Модель *World3* учитывает влияние этих загрязнений всего в двух переменных: одна описывает загрязнители воздуха с коротким временем жизни, другая — токсичные выбросы с долгим временем жизни. Модель различает возобновимые источники, производящие продовольствие, хлопок и другие растительные волокна, и невозобновимые, дающие ископаемые виды топлива и минеральное сырье. Но она не различает отдельные типы продуктов питания, разные виды топлива и сырья. Модель не учитывает причины и последствия применения насилия. И в ней нет ни капитала оборонного сектора, ни коррупции.

Такая степень упрощения удивляет некоторых людей — они полагают, что в модель необходимо включить все, что мы знаем о мире, в особенности различия между регионами — традиционные научные школы считают их принципиально важными. Однако внесение таких данных совсем не обязательно сделает модель лучше. И в любом случае она станет сложнее для понимания. Несмотря на свою относительно простоту, модель *World3* значительно сложнее и глубже, чем большинство моделей, которые используются сейчас для оценки перспектив глобальной системы.

Если мы хотим понять, как будут вести себя в будущем социальные системы, нужна сбалансированная модель. Нет смысла создавать модели с мельчайшими подробностями в одной сфере, но при этом с грубым упрощением в другой. Например, некоторые демогра-

фические модели очень точно отслеживают половозрастное распределение для разных стран и регионов. Однако они полагают, что коэффициенты рождаемости и смертности будут следовать раз и навсегда определенным для них зависимостям, и что они друг на друга не влияют\*. Некоторые экономические модели описывают десятки, а то и сотни секторов экономики, но при этом полагают, что связи между входными и выходными потоками всегда линейны, или что рынок всегда быстро выравнивает спрос и предложение, или что люди принимают решения на основе исключительно экономических соображений и всегда доступной полной информации.

Если модель должна показать основные тенденции поведения системы в будущем, то в ней нужно учитывать причинно-следственные связи по самым важным параметрам. В некоторых моделях используются сотни уравнений, чтобы показать влияния на единственную переменную или элемент системы, но при этом прочие переменные, например, потребление энергии (как внешний фактор, управляемый влияниями, не учтенными в модели), определяются либо по историческим данным, либо вообще по наитию. В модели, как в металлической цепи, самое слабое звено может все испортить. Мы старались сделать все подсистемы модели *World3* одинаково сильными, попытались учесть все важные факторы, чтобы модель не грешила чрезмерным упрощением и не зависела исключительно от внешних влияний.

Вы не обязаны верить нам на слово. Мы создали компакт-диск с моделью *World3* и пояснениями к ней. Вы можете получить копию диска, воспроизвести все сценарии, сравнить их и оценить правильность наших выводов\*\*.

### Назначение модели *World3*

Разработчики моделей, если они не хотят создать непроходимые дебри, должны ограничивать себя. Вводить в модель все, что мы знаем о мире, вовсе не следует: важно ограничиться тем, что *имеет отношение к поставленной задаче*. Искусство моделирования, как и поэзия, архитектура, инженерное проектирование или картография,

---

\* Пример такого подхода приводится в книге: Lutz W. (ed.) *The Future Population of the World: What Can We Assume Today?* London: Earthscan, 1996.

\*\* Компакт-диск содержит потоковую диаграмму модели *World3* на языке STELLA®, полную модель кризиса (описанную в сценарии 1) и интерфейс, с помощью которого можно воспроизвести и проанализировать в деталях все 11 сценариев, опубликованных в этой книге. Чтобы получить информацию по заказу диска, зайдите на сайт [www.chelseagreen.com](http://www.chelseagreen.com).

требует привлечения только того, что необходимо для достижения цели, и не более. Это легко сказать, но трудно сделать.

Поэтому, чтобы понять модель и оценить ее пригодность для конкретной цели, важно сначала понять саму эту цель. Цель создания модели *World3* — представить возможные пути или сценарии поведения мировой системы, когда в наступившем столетии на ней будут сказываться пределы самоподдерживающей емкости планеты\*. Разумеется, существует еще масса других важных вопросов, связанных с долговременной перспективой мира. Какая политика способна максимизировать промышленное развитие Африки? Какой должна быть наилучшая программа планирования семьи в регионе, где большая часть населения неграмотна? Как общество может уменьшить пропасть между благосостоянием богатых и бедных, внутри одной страны и между странами? Факторы и взаимосвязи, которые могли бы ответить на эти вопросы, в модели *World3* вы не найдете. Возможно, на часть из этих вопросов могли бы ответить другие компьютерные модели. Но чтобы они принесли пользу, им, в свою очередь, придется учитывать ответы, полученные с помощью модели *World3*, а главное, итоговый ответ на ключевой вопрос: *как растущая численность населения и физический капитал будут взаимодействовать с самоподдерживающей емкостью Земли (ее пределами устойчивости) в ближайшие десятилетия и можно ли добиться, чтобы человеческая деятельность вписывалась в эти пределы?*

---

\* Понятие поддерживающей емкости изначально было создано для простой системы, включающей только численность популяции и поддерживающие ее ресурсы. Так, она часто использовалась для расчета размера стада рогатого скота, которое можно было бы устойчиво содержать на конкретном пастбище, чтобы не произошло перевыпаса и деградации пастбищных угодий. Применительно к численности населения термин «*поддерживающая емкость*» носит гораздо более сложный характер; его общепринятого определения не существует. Суть понятия сложна потому, что люди используют слишком разные виды ресурсов, предоставляемых средой; создают слишком много видов отходов; воздействуют на среду самыми разными способами в результате использования технологий, работы различных общественных институтов, приверженности к различным стилям и образу жизни... Единого мнения насчет того, сколько времени система может устойчиво выдерживать такую нагрузку, не существует. Нет единства и в том, как оставить достаточно возможностей для существования на планете других видов живой природы. В любом случае поддерживающая емкость — параметр динамический. Она меняется с погодой, техническим развитием, новыми привычками потребления, климатом и другими факторами. Мы свободно используем это понятие для того, чтобы обозначить количество людей, которые могли бы устойчиво жить на планете в приемлемых условиях на протяжении долгого времени — как минимум в течение многих десятилетий, — не подрывая совокупную продуктивность планеты. См. книгу: *Cohen J. E. How Many People Can the Earth Support? New York: W. W. Norton, 1995.*



Уточним: самоподдерживающая емкость — это предел. Любая популяция, превысившая самоподдерживающую емкость, вышедшая за пределы, не может существовать устойчиво. Если численность особей превышает поддерживающую емкость, это приводит к истощению системы, от которой зависит популяция. Если возможно восстановление окружающей среды, то такое истощение будет временным, поправимым. Если восстановление невозможно или если оно занимает столетия, то такую деградацию среды можно считать необратимой.

Рост численности населения относительно пределов самоподдерживающей емкости можно представить всего четырьмя графиками (рис. 4.3)\*. Первый вариант — непрерывный рост — возможен в том случае, если до предела еще очень далеко, либо предел сам растет, причем со скоростью, превышающей темпы роста численности населения. Второй вариант — по мере приближения к пределу рост замедляется, затем прекращается, и численность стабилизируется в допустимых рамках. Такие кривые экологи называют логистическими, или *S*-образными (сигмоидальными), — пример показан на рис. 4.3б. Для мирового сообщества уже невозможен ни первый, ни второй варианты, поскольку численность населения *уже* находится за допустимыми пределами.

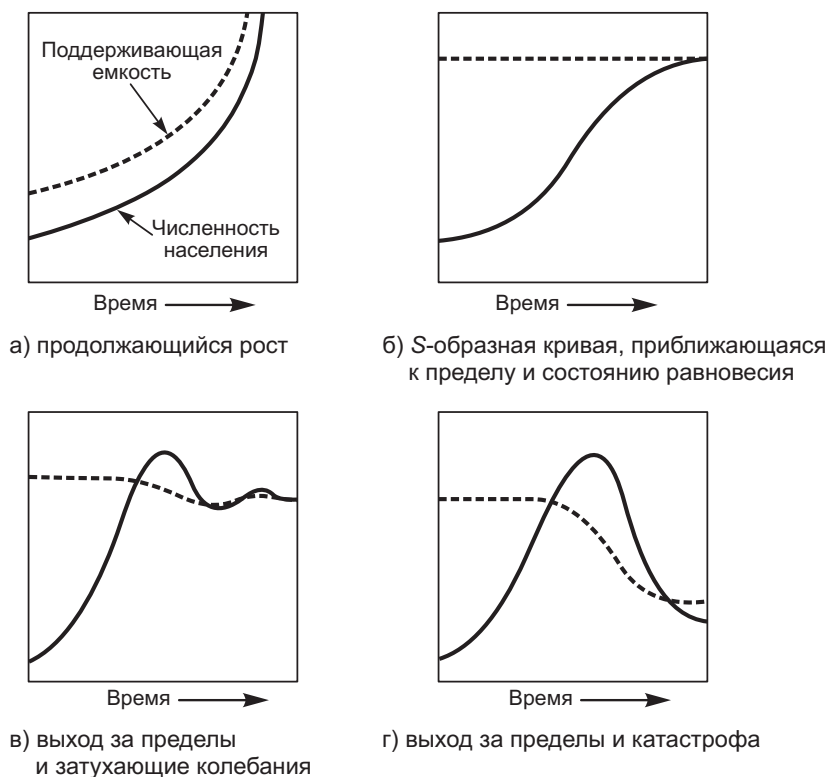
Третий вариант заключается в том, что кривая выходит за пределы поддерживающей емкости, но не надолго, и это не приводит к существенным негативным последствиям. В этом случае экологическая нагрузка будет то выходить за пределы, то снова возвращаться в их рамки. Такое поведение показано на рис. 4.3в — это затухающие колебания. Четвертый вариант — выход за пределы, вызывающий тяжелые и необратимые последствия для системы и ее ресурсной базы. Если это произойдет, то численность населения и экономика быстро придут в упадок, пока не стабилизируются на новом, очень низком уровне, который соответствует новым пределам поддержания. Мы называем такой вариант *«выход за пределы и катастрофа»*, график показан на рис. 4.3г.

*К сожалению, массовые и весьма убедительные доказательства подтверждают: мировое сообщество уже находится за пределами поддерживающей емкости планеты. Какая политика может позволить человечеству постепенно вернуться в рамки возможностей планеты и перейти от сценария 4.3г к сценарию 4.3в?*

---

\* Многие авторы полагают, что такое деление на категории полезно для оценки перспектив. См., например, книгу: *Caton W. R. Overshoot: The Ecological Basis of Revolutionary Change*. Chicago: University of Illinois Press, 1982. С. 251–254.





**Рис. 4.3.** Возможные варианты приближения численности населения к пределу поддерживающей емкости

Основной вопрос, на который должна ответить модель *World3*: какие из приведенных моделей поведения описывают численность населения и экономику мировой системы по мере приближения к пределам поддерживающей емкости?

Наше понятие мирового сообщества учитывает как численность населения, так и объемы и качественные характеристики потребления. Чтобы выразить их численно, мы используем экологический след — термин, введенный Матисом Вакернагелем и его коллегами\*. Как уже говорилось раньше, экологический след учитывает все виды воздействия человечества на планету. В список входит и сельское хозяйство, и добыча полезных ископаемых, и рыболовство, и лесопользование, и выбросы загрязнений в окружающую среду, и уменьшение биологического разнообразия, и преобразование ланд-

\* См.: *Wackernagel M. et al. Ecological Footprints of Nations: How Much Nature Do They Use? How Much Nature Do They Have? Xalapa, Mexico: Centro de Estudios para la Sustentabilidad [Center for Sustainability Studies]. March 10, 1997.*

шафтов... Экологический след обычно растет с увеличением численности населения, поскольку вместе с этим растет и потребление. Однако он может и уменьшаться, если для этого применяются соответствующие технологии, позволяющие снизить воздействие на среду в расчете на единицу человеческой деятельности.

Можно другими словами описать, для чего была создана модель *World3*. Мы хотели получить ответ на ряд вопросов. Раз уж экологический след, вызванный современной численностью населения, слишком велик и находится за пределами устойчивости, то приведет ли современная политика глобальную систему к относительно спокойным, регулярным колебаниям, без резкого снижения численности населения и упадка экономики? Или мировое сообщество ожидает глобальная катастрофа? Если да, то когда? Что следует предпринять, чтобы уменьшить масштабы катастрофы, отдалить ее наступление, минимизировать ее социальные и экологические последствия?

Эти вопросы относятся к общим типам поведения, а не к точным условиям будущего. Чтобы ответить на них, необходимы не точные предсказания, а другой тип моделирования. Если вы бросите мяч вертикально вверх, вы и так примерно можете описать, что с ним произойдет. Он будет подниматься вверх со все меньшей скоростью, затем поменяет направление движения на противоположное и начнет падать, быстрее и быстрее, пока не ударится о землю. Вам точно известно, что мяч не будет бесконечно продолжать движение вверх, что он не начнет облетать планету по орбите и не сделает несколько оборотов перед приземлением.

Если бы вы хотели точно рассчитать, на какую высоту поднимется мяч, или точно определить, когда и в какой точке он упадет на землю, вам потребовалась бы точная информация о параметрах мяча, о высоте над уровнем моря, о силе начального броска, о силе ветра, и вы должны были бы знать соответствующие физические уравнения. Рассуждая по аналогии, можно сказать: если бы мы хотели рассчитать точную численность населения в 2026 г. или точно сказать, когда мировая добыча нефти достигнет максимума и пойдет на спад, или дать точные численные показатели для эрозии почв в 2070 г., то нам потребовалась бы гораздо более сложная модель, чем *World3*.

Насколько нам известно, настолько сложную модель никто еще не сделал и даже близко к этому не подошел. Мы вообще не думаем, что кто-нибудь когда-нибудь сможет это сделать. Дать точные (можно даже сказать, точечные) предсказания о будущем мирового населения и капитала, о состоянии окружающей среды в принципе невозможно, даже если речь идет всего о паре десятилетий. Никто

не обладает знаниями, достаточными для этого, и вряд ли когда-нибудь будет обладать, и тому есть веские основания. Мировая социальная система чрезвычайно сложна. Ее сложность одновременно ужасает и приводит в восхищение. Многие важнейшие параметры сейчас просто не поддаются численной оценке, а возможно, и никогда не поддадутся. Понимание, которого достигло человечество в области экологических взаимосвязей и циклов, очень ограничено. Более того, способность человека наблюдать, делать выводы, учиться и адаптироваться, выбирать и менять цели деятельности делает предсказание точного поведения системы принципиально невозможным.

По всем этим причинам мы вовсе не задавались целью сделать точное предсказание, когда создавали нашу формальную модель мира. Нам нужно было получить представление обо всех возможных вариантах, о тенденциях поведения системы в общих чертах. Наша задача — проинформировать людей об этих вариантах и дать им возможность сделать сознательный выбор. Чтобы достичь этой цели, вовсе не нужно предсказывать будущее с точностью. Надо всего лишь определить, какая политика увеличит вероятность перехода к устойчивому, самоподдерживающему поведению системы и уменьшит последствия будущей катастрофы. *Предупреждение* о бедствии, направленное разумной аудиторией, которая в состоянии принять осознанные меры, может вообще предотвратить наступление бедствия, или, по крайней мере, ослабить его последствия. По всем этим причинам мы сосредоточились на схемах поведения, на качественном виде, а не на количественных значениях. И мы очень надеемся, что прогнозы, данные моделью *World3*, позволят миру защитить себя.

Чтобы добиться результата, мы заложили в модель *World3* определенную статистическую информацию о мировом населении и экономике. Она сродни той информации, что есть у любого человека, подбрасывающего мяч вверх, и не предназначена для точного расчета траектории мяча после данного конкретного броска данного конкретного мяча.

Нас интересовали изменения, которые занимают многие десятилетия, поэтому особое внимание было уделено загрязнению среды именно стойкими веществами с большим сроком существования — теми, которые остаются в природе на долгие, долгие годы. Мы представляем себе постоянное загрязнение как совокупность стойких химических соединений и металлов, которые выбрасываются в среду в результате производственной и аграрной деятельности и могут влиять на здоровье человека и урожайность сельскохозяйственных культур. В систему включено запаздывание между выбросом загряз-

нителей и наступлением последствий, поддающихся измерению, поскольку мы знаем, что это запаздывание действительно существует. Пестициды попадают в грунтовые воды не сразу, а через определенное время; у молекул хлорфторуглеродов уходят годы на то, чтобы добраться до стратосферного озонового слоя и начать разрушать его; ртуть, попавшая в реку, постепенно накапливается в тканях рыб. Мы учли, что природа со временем разлагает многие загрязнители на безвредные составляющие, но приняли во внимание и то, что способность окружающей среды к самоочищению не безгранична и может уменьшиться из-за чрезмерного загрязнения. В модель *World3* вошли признанные динамические характеристики для стойких загрязнителей, однако она не различает конкретные свойства, присущие полихлорированным бифенилам (ПХБ), хлорфторуглеродам (ХФУ), дихлордифенилтрихлорэтану (ДДТ), тяжелым металлам или радиоактивным отходам.

В модели *World3* были использованы самые лучшие и точные данные, какие только удалось найти, но мы признаем, что многие из наших оценок имеют довольно широкие допущения. В тех случаях, когда в важных исходных данных есть сомнения, разработчики моделей просто рассматривают больший диапазон вариантов. Чтобы проверить, сильно ли влияет неточность исходных статистических данных на финальные заключения, модель «прогоняют» с разными наборами данных и сравнивают результат, и мы поступили так же. Например, в модель заложены данные о невозобновимых ресурсах, которые еще не добыты, а может, еще и не разведаны — лучшие данные, которыми смогли снабдить нас геологи, но заведомо оценочная информация. Мы запустили модель с этими настройками, а затем «прогнозили» ее еще раз со вдвое меньшим количеством ресурсов и еще раз — со вдвое большим, чтобы сравнить, насколько сильно влияет на поведение системы возможная неточность данных, полученных от геологов, или наша не вполне корректная их интерпретация.

Из-за неточностей и упрощений, на которые мы сознательно пошли в модели (а также тех, которые, не исключено, в модели присутствуют неявно, но мы этого просто еще не знаем), нельзя гарантировать точность численных значений и оценок, которые модель выдает для населения, загрязнения, капитала или производства продовольствия. Мы считаем, что основная задача модели *World3* — правильно отображать структуру причинно-следственных связей в мировой системе. Общее поведение модели определяется именно структурой взаимосвязей, а не конкретными численными значениями. Поэтому мы уверены, что сценарии, которые генерирует модель *World3*, пра-

вильно отображают будущие тенденции. В книге будет представлено 11 различных сценариев будущего (до 2100 г.). Они дают важную информацию и позволяют понять, при каких условиях население, производство, загрязнение и связанные с ними факторы могут продолжать расти, стабилизироваться на определенном уровне или колебаться около определенного значения, или же глобальную систему ожидает катастрофа.

### Структура модели *World3*

Каковы основные взаимосвязи в системе? Самые важные циклы обратных связей относятся к численности населения и промышленному капиталу — о них мы уже говорили в главе 2. Обе подсистемы показаны на рис. 4.4. Их структура ответственна за склонность капитала и численности населения к экспоненциальному росту, если доминируют положительные обратные связи (рождаемость и инвестиции); тенденцию к уменьшению, если берут верх отрицательные связи (смертность и амортизация). Если же циклы уравниваются, то численность населения и капитал могут стабилизироваться на каком-то уровне.

На диаграммах обратных связей, подобных той, что показана на рис. 4.4, стрелки отражают влияние одной переменной на другую — за счет физического или информационного потока. Все наши предположения можно описать, просто идя по стрелкам в рамках цикла. Например: «С ростом промышленного капитала увеличивается производство промышленной продукции. Рост производства продукции вызывает увеличение инвестиций. С ростом инвестиций промышленный капитал становится еще больше». *Природа и степень воздействия* на нее на этих диаграммах не показаны, хотя в полной модели *World3* соответствующие математические уравнения, конечно, присутствуют. Направление стрелок по часовой стрелке или против нее никакого значения не имеет. Важен смысл, заключенный в структуре обратных связей.

Прямоугольниками на схеме показаны уровневые переменные. Они могут отображать физические, явно измеряемые понятия (например, численность населения, количество заводов, загрязнение окружающей среды) или неведущие параметры (например, объем накопленных знаний, устремления, технологические разработки). Уровневые переменные изменяются в системе достаточно медленно, поскольку они связаны с относительно долгоживущими объектами или информацией. В каждый момент значение уровня отображает результирующее влияние от всех потоков за весь изучаемый период — разность между всеми входящими и исходящими потоками.



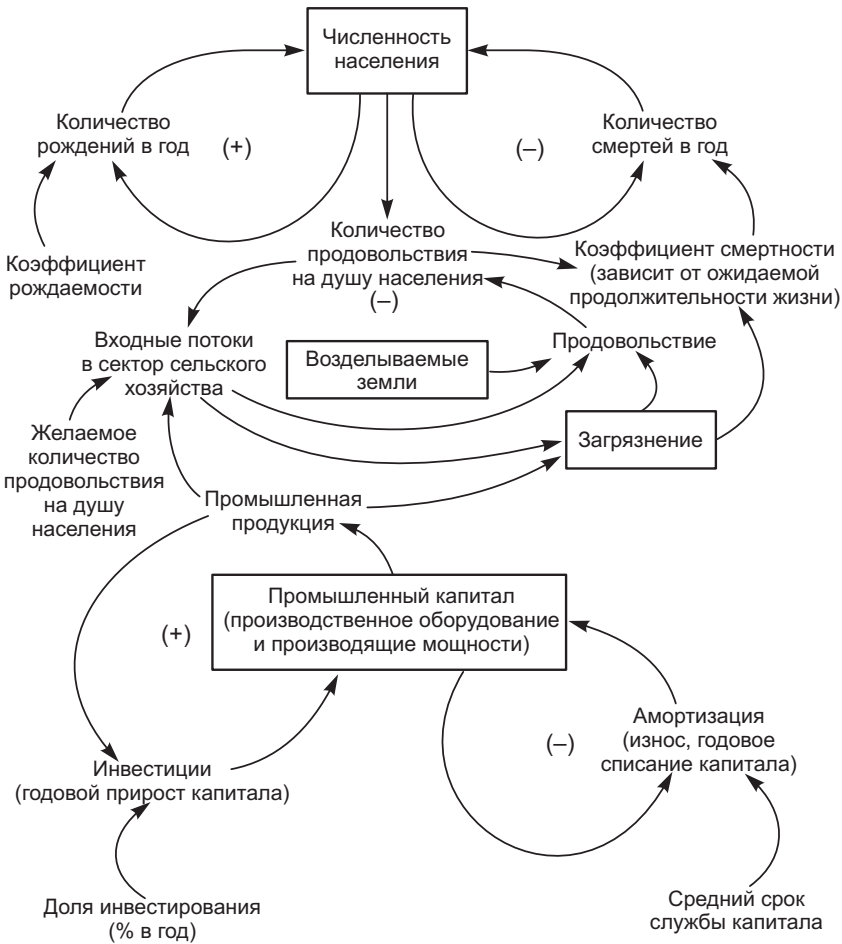
**Рис. 4.4.** Циклы обратных связей, определяющих рост численности населения и капитала

Основные циклы обратных связей, заложенные в модель *World3*, описывают рост численности населения и промышленного капитала. Два положительных цикла обратной связи, включающие в себя рождаемость и инвестиции, генерируют экспоненциальный рост численности населения и капитала. Два отрицательных цикла обратной связи, включающих смертность и амортизацию (выбывание) капитала, пытаются оказывать регулирующее воздействие на рост. В зависимости от того, какие циклы в системе сильнее, остальные факторы будут меняться в ту или иную сторону.

Количество действующих заводов, численность населения, количество загрязнителей, оставшиеся запасы невозобновимых ресурсов в недрах планеты, площади обрабатываемых земель — все эти и многие другие переменные в системе *World3* относятся к уровневым.

*Петли обратных связей* на схемах отмечены знаком «плюс» (+), если это положительные, усиливающие циклы, которые генерируют экспоненциальный рост или экспоненциальное уменьшение определенного параметра. Петли отмечены знаком «минус» (–), если это отрицательные, стабилизирующие циклы, которые оказывают противоположное воздействие на изменение параметра или пытаются привести систему к равновесию.

Некоторые из взаимных влияний между численностью населения и капиталом в модели *World3* показаны на рис. 4.5. Промышленный капитал позволяет получить промышленную продукцию, которая включает в себя множество видов товаров. Часть из них на-



**Рис. 4.5.** Циклы обратных связей, определяющих численность населения, промышленный капитал, деятельность сельскохозяйственного сектора и уровень загрязнения окружающей среды

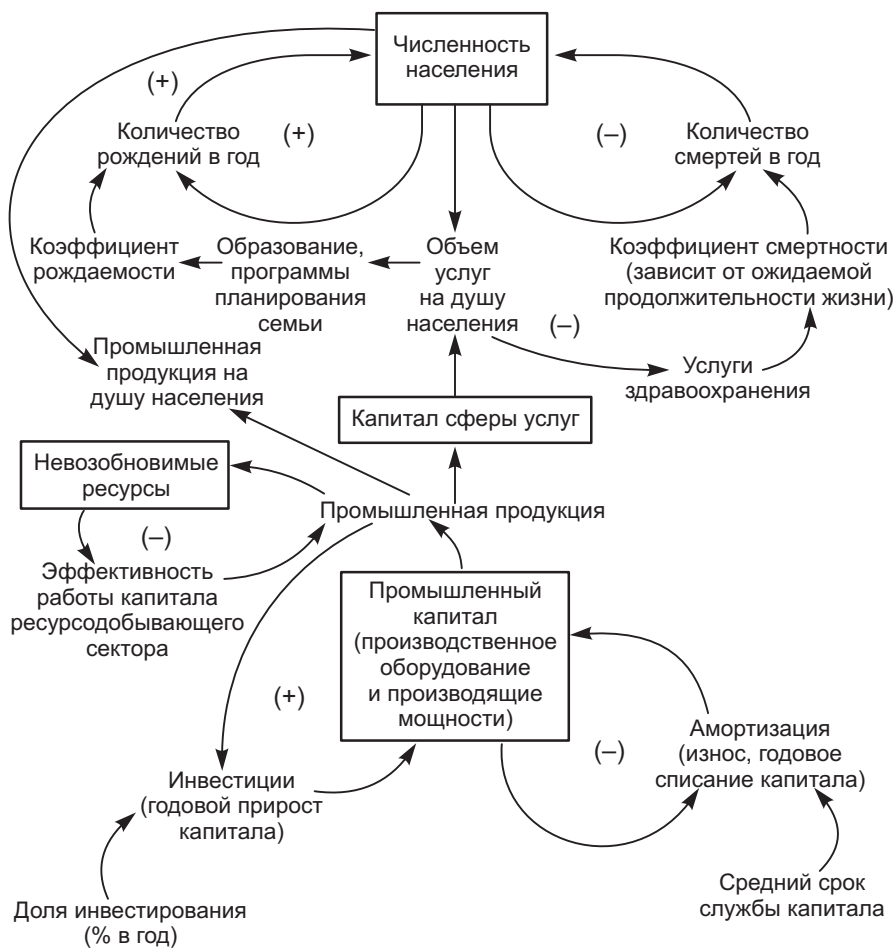
Некоторые из взаимосвязей численности населения и промышленного капитала проходят через сельскохозяйственный капитал, площади возделываемых земель и уровень загрязнения. Каждая стрелка отображает причинную связь, которая может быть положительной или отрицательной, иметь малый или большой срок запаздывания, в зависимости от начальных условий, заданных при каждом про-

правляется на вход в сельскохозяйственный сектор — например, пестициды, удобрения, оросительные насосные установки и т. п. Потоки, поступающие в аграрный сектор, следует увеличить, если производство продуктов питания на душу населения оказывается ниже желаемого уровня. Желаемый уровень складывается из рыночного спроса и нерыночных факторов — как правило, социальных, государственных программ, направленных на обеспечение населения продовольствием. Желаемый уровень может меняться в зависимости от степени индустриализации общества. Входные потоки, поступающие в сельскохозяйственный сектор, а также площадь возделываемых земель определяют количество производимого продовольствия. На производство продуктов питания влияет также уровень загрязнения окружающей среды, который, в свою очередь, определяется масштабами промышленной и сельскохозяйственной деятельности. Производство продуктов питания на душу населения и уровень загрязнения сказываются на коэффициенте смертности.

На рис. 4.6 показаны основные связи между численностью населения, промышленным капиталом, капиталом сферы услуг и невозобновимыми ресурсами в модели *World3*. Часть промышленной продукции принимает форму капитала в сфере услуг — это жилые дома, школы, больницы, банки и все, что находится внутри них. Эти средства инвестированы в сектор обслуживания, чтобы увеличить *капитал сферы услуг* — одну из уровневых переменных. Продукция, производимая этим капиталом, — услуги, и если разделить их на численность населения, то мы получим объем услуг на душу населения. Услуги здравоохранения позволяют уменьшить смертность населения. Образование и планирование семьи (тоже услуги) помогают в снижении рождаемости. Увеличение промышленного капитала на душу населения тоже приводит к снижению рождаемости — это эффект от перераспределения занятости населения, который проявляется после определенного периода запаздывания. Чем дальше продвинулась индустриализация в стране, тем дороже обществу обходится рождение и воспитание детей, и тем менее выгодными становятся многодетные семьи, поэтому желаемый размер семьи уменьшается, и рождаемость снижается.

Производство каждой единицы промышленной продукции вызывает расход невозобновимых ресурсов. Заложенный в модель процесс совершенствования технологий приводит к тому, что количество ресурсов, необходимых для производства единицы промышленной продукции, постепенно уменьшается, при том, что все остальные параметры остаются прежними. Однако модель не позволяет про-





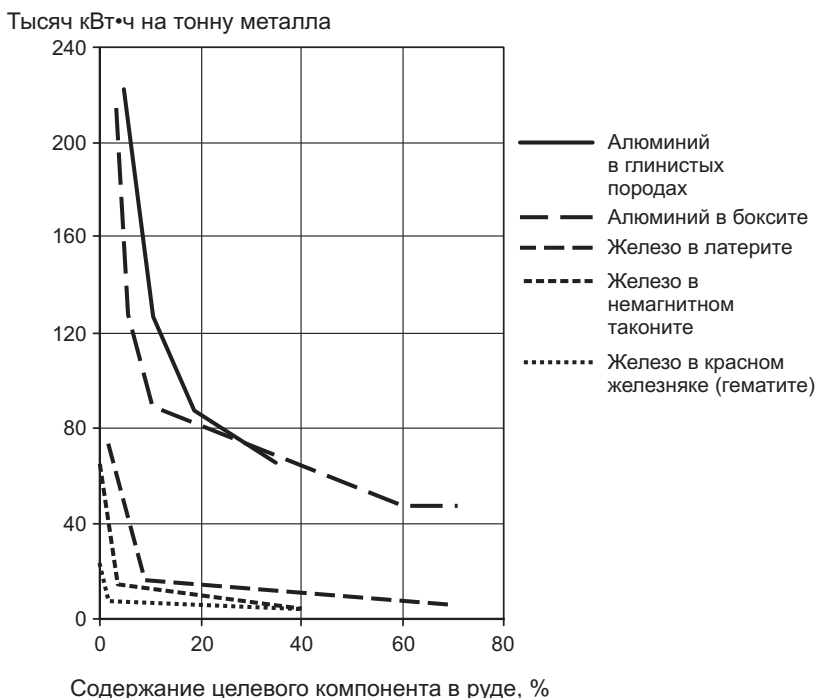
**Рис. 4.6.** Циклы обратных связей, определяющих численность населения, промышленный капитал, капитал сферы услуг и запасы невозобновимых ресурсов

На численность населения и промышленный капитал также влияют капитал сферы услуг (здравоохранение, образование и т. п.) и запасы невозобновимых ресурсов.

мышленности производить материальную продукцию «из воздуха», из ничего. По мере уменьшения запасов невозобновимых ресурсов эффективность капитала ресурсодобывающей отрасли падает: каждая единица капитала позволяет добыть все меньше и меньше целевой продукции — невозобновимых ресурсов — для промышленного сектора. При расходовании ресурсов качество еще не добытых ресурсов постепенно снижается. Предполагается, что самые богатые и близко расположенные месторождения люди обнаруживают и эксплуати-

руют в первую очередь. Разработка остальных месторождений потребует большего количества капитала и энергии для того, чтобы извлечь из недр, переработать и перевезти к месту потребления единицу целевой продукции — тонну меди, баррель нефти и т. п. В кратковременной перспективе с этими тенденциями можно бороться за счет усовершенствования технологий, но в долговременных масштабах они служат ограничением физического роста.

Зависимость между остающимися запасами ресурсов и количеством капитала, необходимого для их добычи, имеет совершенно нелинейный характер. Качественный вид кривой показан на рис. 4.7. График отображает количество энергии, необходимой для добычи и переработки железа и алюминия при разном содержании целевого компонента в руде. Энергия, конечно, это не сам капитал; точное количество капитала, задействованного в добывающей отрасли, определить очень сложно. Однако количество энергии, необходимой для добычи, в достаточной степени характеризует величину капитала,



**Рис. 4.7.** Энергия, необходимая для производства из руды чистого металла

Чем меньше содержание металла в руде, тем больше энергии необходимо для его извлечения. (Источник: N. J. Page and S. C. Creasey.)

который потребуется вложить в отрасль. Чем беднее руда, тем больше породы придется поднимать на поверхность в расчете на тонну целевого продукта. Руду надо будет дробить на мелкие частицы, затрачивать больше усилий, чтобы разделить ее на составляющие; в отвал пойдет огромное количество пустой породы. На всех этапах производства требуется применение тяжелого оборудования, ему необходима энергия, а чем больше энергии и капитала нужно ресурсодобывающей отрасли, тем меньше инвестиций можно сделать в другие области экономики. Прочие же параметры остаются прежними.

Полная схема взаимосвязей в модели *World3*, иллюстрирующая все наши предположения, приводится на компакт-диске вместе с расчетной частью системы *World3*. На нем же содержится гораздо более подробная информация о каждом из 11 сценариев, приведенных в книге.

Чтобы понять, как работает модель и каковы основные сценарии, совсем не обязательно детально разбираться в каждой взаимосвязи параметров. Важно понять суть основополагающих особенностей модели:

- процессы роста;
- пределы;
- запаздывания;
- процессы разрушения.

В главе 2 мы рассказали о росте численности населения и капитала. В главе 3 дали подробную информацию о пределах окружающей среды в «реальном мире». Теперь мы опишем пределы так, как они заложены в модель *World3*, а затем расскажем о запаздываниях и процессах разрушения, которые тоже в нее включены.

Читая эту главу, нужно постоянно держать в памяти факторы и условия, делающие компьютерную модель похожей или, наоборот, отличной от «реального мира» с его населением и экономикой — мира, который вы знаете по собственным ощущениям и мысленным моделям. Обнаружив различия, вы столкнетесь с теми же вопросами, что вставали перед создателями модели на всем протяжении работы. Какая из двух моделей — *World3* или ваша собственная — полезнее для оценки будущего? Существует ли какой-нибудь тест, который позволил бы однозначно ответить на этот вопрос? Если компьютерная модель полезнее, то какие ее особенности вы могли бы внести в собственную мысленную модель, чтобы ваше представление о глобальных проблемах стало более глубоким, а действия — более эффективными?

## Есть пределы, нет пределов

Экспоненциально растущая экономика истощает ресурсы, создает отходы, отнимает земли у процессов, восполняющих возобновимые ресурсы. Поскольку экономика ведет деятельность в физически ограниченной, конечной среде, рано или поздно ее расширение начинает вызывать проблемы. Они появляются и разрастаются задолго до того, как общество столкнется с полной невозможностью дальнейшего роста. В ответ на эти проблемы окружающая среда начинает посылать экономике предупреждающие сигналы, которые могут принимать самые разные формы. На выкачивание воды из истощающегося водоносного горизонта уходит все больше энергии; на обработку гектара новых сельскохозяйственных угодий требуется все больше финансовых вложений; начинает проявляться вред от выбросов, которые раньше казались совершенно безобидными; из-за выросшей концентрации загрязнений природные системы Земли восстанавливаются после повреждения медленнее, чем раньше... Подобные изменения совсем не обязательно сразу приводят к росту цен в денежном выражении, ведь рыночные цены можно регулировать декретами, указами, субсидиями и массой других способов. Сигналы, которые посылает нам окружающая среда (независимо от того, подкреплены они ростом цен или нет), и создающееся напряжение в системе — важные составные элементы отрицательных обратных связей. Такие циклы направлены на то, чтобы привести экономику в соответствие с ограничениями окружающей среды. Они стремятся остановить рост экологической нагрузки, которая истощает глобальные источники и переполняет стоки.

Модель *World3* включает в себя несколько видов пределов, относящихся к глобальным источникам и стокам. («Реальный мир», надо отметить, содержит их гораздо больше.) Все эти пределы в модели можно повысить или понизить за счет развития технологий, использования воздействий, изменения целей и настроек. Например, в стандартной настройке модели *World3* (набор параметров по умолчанию) существуют следующие пределы по источникам и стокам.

- *Возделываемые земли* — территории, используемые для ведения сельского хозяйства любого типа. Мы предполагаем, что максимальное значение площадей — 3,2 млрд га. Возделываемые земли расширяются за счет инвестиций в обработку земли, ранее не имевшей сельскохозяйственного значения. Как было показано на рис. 4.2, стоимость обработки новых земель постоянно растет, так как первыми всегда берутся в оборот самые плодородные и удобно расположенные территории. Земли вы-

ходят из сельскохозяйственного использования из-за эрозии, а также процессов урбанизации и индустриализации. Эрозию можно уменьшить за счет инвестиций и правильного землепользования.

- *Продуктивность земель* — присущая почвам способность поддерживать растительность; сочетание таких факторов, как питательные вещества, толщина почвенного слоя, содержание влаги, климатические условия, структура почвы. Мы предполагаем, что начальный уровень продуктивности, соответствующий 1900 г., был вполне достаточен для производства 600 кг зерна (зернового эквивалента) с гектара, при этом удобрения не применялись. Продуктивность земли уменьшается из-за загрязнения, которое, в свою очередь, является следствием использования в сельском хозяйстве промышленных потоков. Предполагается, что заброшенная деградировавшая земля за 20 лет восстановит свое плодородие наполовину. Этот процесс можно значительно ускорить, если вкладывать в восстановление земель силы и деньги (вносить органические удобрения, компост, выращивать на землях бобовые растения и т. д.).
- *Урожайность, которой можно добиться с единицы площади*, зависит от продуктивности земли, загрязнения воздуха, интенсивности промышленных потоков (например, химических удобрений) и уровня развития технологий. Промышленные потоки позволяют увеличить урожайность, но во все уменьшающейся пропорции — каждый следующий килограмм химических удобрений дает меньший прирост урожайности, чем предыдущий. В качестве начальных условий мы предполагаем, что использование промышленных потоков увеличивает природную продуктивность земли в 7,4 раза (т. е. на 640%, и этот коэффициент относится ко всем землям в среднем, а не только к наиболее продуктивным из них). С неопределенностью таких данных мы сможем справиться, исследовав сценарии с более высокими значениями продуктивности.
- *Невозобновимые ресурсы* включают в себя минеральные виды сырья, металлы и ископаемое топливо. Обычно мы начинаем расчеты модели с 1900 г., предполагая, что запасы ресурсов более чем в 7000 раз превышают объем их годового потребления в том же 1900 г.\* Инвестиции, необходимые для поиска и разработки новых месторождений невозобновимых ресурсов, должны

\* Только в сценариях 0 и 1 предполагается, что начальные запасы невозобновимых ресурсов вдвое меньше, чем в остальных.

увеличиваться по мере того, как истощаются самые богатые и ближе всего расположенные месторождения.

- *Способность Земли поглощать и разлагать загрязнения* — другой предел, представленный в модели *World3*. Он отражает совокупный эффект от множества процессов, которые приводят к разложению или преобразованию стойких токсичных соединений в безвредные вещества. Здесь учитываются хлорсодержащие органические соединения, парниковые газы и радиоактивные отходы. Мы выразили предел как период полураспада загрязнений — время, необходимое для того, чтобы естественные процессы справились с половиной загрязнений и разложили их на безвредные составляющие. Разумеется, некоторые токсичные вещества (например, изотопы плутония) имеют гораздо больший период полураспада — практически бесконечный в сравнении с человеческой жизнью. Но мы решили использовать в модели оптимистичные цифры и предположили, что в 1970 г. период полураспада загрязнений составлял один год. Если загрязнение за счет стойких соединений усиливается в 250 раз относительно уровня 1970 г., то период полураспада возрастает до 10 лет. С количественной точки зрения этот предел изучен меньше всего, даже если каждый загрязнитель брать по отдельности. Величина этого предела задается с большой неопределенностью, особенно если учесть, что модель оперирует усредненной совокупностью загрязнителей, а не их отдельными видами.

К счастью, наши предположения насчет исчезновения стойких загрязнителей имеют не такое уж большое значение для модели, поскольку они не очень сильно влияют на другие подсистемы модели *World3*. Мы предположили, что если накопление загрязнений достигает значения, в 5 раз превышающего уровень 2000 г., то это уменьшит ожидаемую продолжительность жизни менее чем на 2%. Во всех 11 сценариях концентрация стойких загрязнителей редко превышает уровень 2000 г. в 5 раз. Если же такое превышение все-таки происходит (это экстремальные сценарии), то подобная концентрация приводит к снижению продуктивности сельского хозяйства каждый год на 10% или больше. Однако с ним можно справиться за счет инвестиций в восстановление и улучшение земель. Мы проверили и другие оценки, чтобы выяснить, насколько они влияют на поведение модели.

В «реальном мире» существует множество других пределов, включая социальные и административные. Некоторые из них неявно заложены в модели *World3*, поскольку ее основные параметры взяты из «реальной» истории и статистики за прошедшие 100 лет. Однако

в модели *World3* нет войн, забастовок, коррупции, наркомании, преступности, терроризма... Смоделированное население делает все, что может, для решения проблем, без оглядки на политическую борьбу, этническую нетерпимость или коррупцию. Поскольку в модели нет многих социальных пределов, она рисует в целом очень оптимистичную картину будущего.

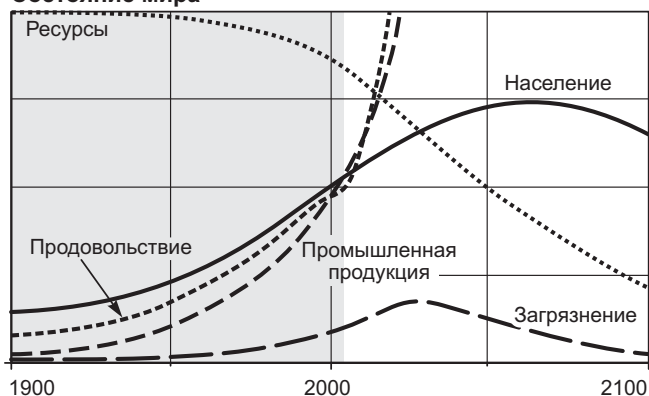
Что, если мы ошибаемся насчет запасов невозобновимых ресурсов, которые пока остаются скрытыми в недрах нашей планеты? Что, если заложенные в модель цифры вдвое меньше «реальных» количеств, или вдвое больше, или в 10 раз больше? Что если «реальная» способность Земли поглощать загрязнения без вреда для населения не в 10 раз превышает объемы выбросов 1990 г., а в 50 раз? Или в 500? Или наоборот, если она вдвое меньше? Что, если будут разработаны технологии, которые уменьшат (или увеличат) выбросы загрязнителей на единицу промышленной продукции?

Компьютерная модель — как раз тот инструмент, который позволяет отвечать на подобные вопросы. Ее можно использовать для проведения экспериментов без финансовых затрат и потери времени. Все эти «Что, если?» можно проверить. Например, можно задать пределы модели *World3* чрезвычайно высокими или запрограммировать их на экспоненциальный рост. Мы это попробовали. Если из системы удалить все физические пределы, предполагая, что возможности технологий ничем не ограничены, что применить их можно мгновенно, без затрат и без ошибок, то экономика набирает колоссальные обороты. На рис. 4.8 в сценарии 0 показано, что при этом происходит.

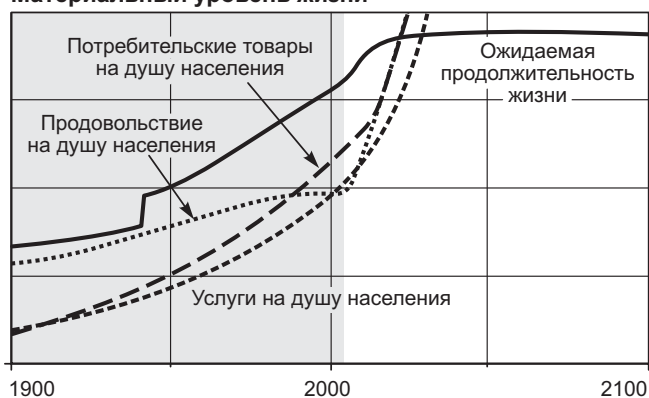
Компьютерный расчет сценария 0, показанный на рис. 4.8, был выполнен моделью *World3* после того, как мы изменили численные значения в сравнении со стандартными настройками, исходя из следующих допущений.

- Количество невозобновимых ресурсов, необходимое для производства единицы промышленной продукции, экспоненциально снижается на 5% в год без ограничения снизу, и каждые 15 лет уменьшается вдвое (на 50%), поскольку общество стремится к более эффективному использованию ресурсов.
- Количество загрязнений на единицу промышленной продукции экспоненциально снижается на 5% в год без ограничения снизу.
- Урожайность сельскохозяйственных культур на единицу промышленной продукции, направленной в аграрный сектор, возрастает по экспоненте без ограничения сверху на 5% в год, удваиваясь каждые 15 лет, поскольку общество стремится к увеличению производства продовольствия.

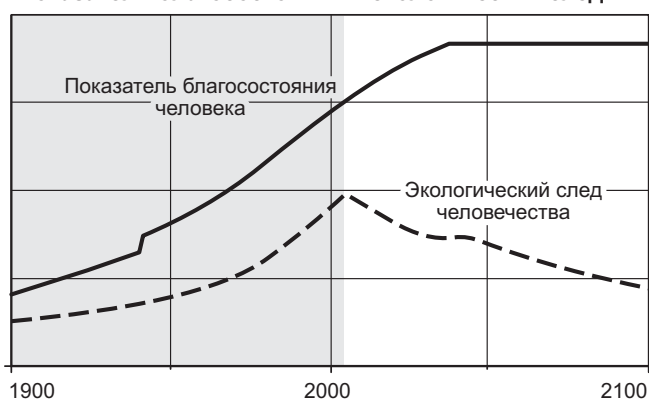
### Состояние мира



### Материальный уровень жизни



### Показатель благосостояния и экологический след



**Рис. 4.8.** Сценарий 0: бесконечность на входе, бесконечность на выходе

Если из системы удалить все физические пределы, то численность населения достигает 9 млрд человек и начинает постепенно уменьшаться в результате демографического перехода. Экономика к 2080 г. достигает уровня производства, в 30 раз превышающего показатели 2000 г., при этом ежегодно используются такие же количества невозобновимых ресурсов и производится в 8 раз меньше загрязнений.



### Как интерпретировать сценарии модели *World3*

В главах 4, 6 и 7 приведены результаты 11 прогонов модели *World3* — мы называем их сценариями. Каждый прогон использует одну и ту же структуру модели *World3*, однако некоторые численные параметры изменяются, чтобы таким путем проверить различные оценки состояния «реального мира», проанализировать более оптимистичные прогнозы о развитии новых технологий или посмотреть, что произойдет, если мир будет следовать той или иной политике, придерживаться тех или иных этических принципов и целей.

Когда мы вносим изменения в начальные условия и делаем очередной прогон, модель *World3* заново просчитывает уравнения (их больше двухсот), которые связывают параметры модели между собой. Новое значение для каждой переменной рассчитывается для каждых шести месяцев в период с 1900 по 2100 г. Таким образом, для каждого сценария модель выдает более 80 000 численных значений. Приводить их все в книге нет смысла, да и интерпретировать отдельно взятые значения затруднительно. Чтобы результаты было легче понять (как авторам, так и читателям), мы показываем их в очень упрощенной форме.

Упрощение результатов подразумевает, что на график мы выносим только основные (ключевые) переменные — численность населения, уровень загрязнения, природные ресурсы... Для каждого сценария в книге приводится по три упрощенных графика; их формат одинаков для всех сценариев, чтобы удобнее было сравнивать. График, расположенный сверху, называется «Состояние мира», на нем выводятся глобальные значения для следующих переменных:

- 1) численность населения;
- 2) производство продовольствия;
- 3) промышленная продукция;
- 4) относительный уровень загрязнения;
- 5) оставшиеся запасы невозобновимых ресурсов.

На среднем графике, который называется «Материальный уровень жизни», выводятся графики по следующим переменным:

- 6) производство продовольствия на душу населения;
- 7) услуги на душу населения;
- 8) средняя ожидаемая продолжительность жизни;
- 9) потребительские товары на душу населения.

На нижнем графике, который называется «Показатель благосостояния и экологический след», выводятся мировые значения двух показателей:

- 10) экологический след человечества;
- 11) показатель благосостояния человека.

Все вертикальные оси отсчитываются от нулевой точки. Чтобы было удобнее сравнивать разные сценарии, масштаб осей для всех прогонов модели выбран одинаковым. Однако конкретные численные значения на вертикальной оси мы не указываем, поскольку точные значения переменных в каждый отдельный момент малоинформативны. К тому же разные переменные имеют разные масштабы и единицы измерения. Например, шкала для продовольствия на душу населения имеет диапазон от 0 до 1000 кг зернового эквивалента на человека в год, в то время как шкала ожидаемой продолжительности жизни — от 0 до 90 лет.

Поскольку точное численное выражение переменных не имеет особого значения, стоит сосредоточиться на качественном виде (форме) кривых и их различиях в разных сценариях. Тем не менее важно помнить, что в сценариях, описывающих катастрофу, мы не можем точно описать то, что произойдет *после* наступления кризиса — спрогнозировать или предсказать это не может никто. Каждый сценарий рассчитывается до 2100 г., но все, что происходит после спада, резкого уменьшения какого-либо параметра модели точно описать невозможно. Дело в том, что любой серьезный кризис в «реальном мире» сразу же приведет к тому, что многие важные допущения, на основе которых мы построили модель, утратят достоверность и актуальность.

При каждом прогоне модели компьютер заполняет подробную таблицу данных, в которой каждой переменной присваивается отдельное значение для каждых 6 месяцев расчетного периода (с 1900 по 2100 г.). Эти таблицы огромны, а данные, содержащиеся в них, очень подробны. Так, в таблице для сценария 0 численность населения мира достигает максимального значения в 8 876 186 000 человек в расчетном году 2065,0. Показатель загрязнения стойкими соединениями в этом сценарии возрастает с 3,150530 в 2000 г. до максимального значения в 6,830552 в расчетном году 2025,5, т. е. за расчетный период показатель возрастает в 2,1680 раза. Но особого смысла в этих численных значениях нет, и никакие данные или параметры, рассчитываемые моделью *World3*, не требуют точности до пятого знака после запятой. Помните: нас интересуют общие тенденции. По-настоящему важны только несколько ключевых переменных, и мы задаем всего пять ключевых вопросов. Какая из переменных перестанет расти в текущем столетии? Насколько быстро они будут расти или уменьшаться? Каковы основные факторы, определяющие такое поведение? Влияют ли допущения и заданные начальные условия сценария на то, с какой скоростью изменяется переменная, достигает ли она большего или меньшего значения? Какое изменение политики приведет к более желательному для человечества результату?

Сценарий за сценарием, мы дадим ответы на эти вопросы. Упрощая результаты компьютерных расчетов, мы следовали двум правилам. Временной период, в течение которого достигается максимум или минимум по какой-либо переменной, округляется до ближайшего десятилетия (от 5,0 округление идет в большую сторону до 10,0). Например, расчетные годы 2016, 2032,5 или 2035 будут округлены соответственно до 2020, 2030 и 2040. Каждое значение отдельного параметра или отношение между двумя численными значениями будет выражаться с точностью только до ближайшей значащей цифры. Используя эти правила, результаты сценария 0 мы должны представить так: «Численность населения мира достигнет максимального значения в 9 млрд человек к 2070 расчетному году. Показатель стойкого загрязнения в этом сценарии увеличивается со значения 3 в 2000 г. до значения 7 (максимум) в 2030 расчетном году, возрастая за этот период более чем вдвое». Иногда такие правила упрощения будут давать несколько неточные результаты, но не обращайтесь — это просто допуски округления, они не имеют никакого значения для основных выводов, которые позволяет сделать модель.

- Все технические достижения одинаково эффективны на всем земном шаре, при этом нет никаких дополнительных затрат капитала, а запаздывание на внедрение составляет всего 2 года (в стандартных параметрах модели было 20 лет), поскольку общество считает такие технологии желательными и интенсивно их развивает.
- Площади под застройку изымаются из сельскохозяйственного оборота со скоростью в 4 раза меньше, чем обычно предполагается в модели *World3*, и перенаселенность не оказывает на человечество никакого негативного влияния.
- Загрязнение не оказывает на производство сельскохозяйственной продукции сколько-нибудь значительного влияния.

В таком расчете численность населения растет все медленнее, достигает значения около 9 млрд человек, а затем постепенно снижается, поскольку все население мира становится достаточно богатым для того, чтобы произошел демографический переход. Средняя ожидаемая продолжительность жизни стабилизируется на уровне 80 лет по всему земному шару. Средняя урожайность сельскохозяйственных культур к 2080 г. возрастает примерно в 6 раз относительно уровня 2000 г. График производства промышленной продукции растет так сильно, что выходит за пределы рисунка по вертикали. В конце концов рост останавливается, но на очень высоком уровне,

и причина тому — огромная нехватка рабочей силы, ведь промышленный капитал увеличился в 40 раз в сравнении с 2000 г., для управления им необходимы людские ресурсы, а население между тем выросло только в 1,5 раза. (В принципе, от этого предела теоретически тоже можно избавиться, предположив, что способность малого количества людей управлять огромным капиталом тоже растёт экспоненциально.)

К расчетному 2080 г. мировая экономика производит в 30 раз больше промышленной продукции и в 6 раз больше продовольствия, чем в 2000 г. Чтобы добиться этих результатов, за первые 80 лет XXI в. был накоплен промышленный капитал, в 40 раз превышающий объёмы капитала за весь XX в. По мере такого разрастания капитала, как показано на рис. 4.8, происходит постепенное незначительное уменьшение в использовании невозобновимых ресурсов, а количество выбросов уменьшается в сравнении с 2000 г. в 8 раз. Уровень благосостояния человека в период с 2000 по 2080 г. возрастает на 25%, а экологический след уменьшается на 40%. В конце расчетного периода, в 2100 г., нагрузка на окружающую среду вписывается в пределы самоподдержания с большим запасом.

Некоторые люди верят, что такой сценарий возможен. Они ожидают, что именно так и будет, а пока проявляют беспечность. Нам известны случаи значительного увеличения эффективности в отдельно взятых странах, отдельных секторах экономики, отдельных промышленных процессах. Многие из таких примеров были приведены в главе 3. Мы надеемся и даже уверены в том, что дальнейший рост эффективности вполне возможен, включая даже стократное увеличение. Однако данные, представленные в главе 3, показывают, что в масштабах *всей мировой экономики* такие улучшения быстро не происходят. Даже если бы никакие факторы не препятствовали наступлению таких быстрых изменений, сыграл бы свою роль срок службы капитала — время, через которое необходимо заменять или модифицировать парк машин и станков, обновлять здания и оборудование, обслуживающие глобальную экономику. А еще проявилась бы ограниченная способность существующего капитала производить настолько больше дополнительного капитала: такая «дематериализация» неосуществима с практической точки зрения. Если же добавить политические и бюрократические сложности, столь свойственные «реальному миру» и препятствующие тому, чтобы рыночная система за счет ценовых механизмов откликалась на выгодные технологии, то такой «неограниченный» сценарий становится и вовсе нереализуемым.

Мы включили этот сценарий в книгу не потому, что рассматриваем его как один из возможных или вероятных вариантов будущего в «реальном мире», а лишь по той причине, что он хорошо иллюстрирует особенности компьютерного моделирования вообще и модели *World3* в частности.

Сценарий 0 позволяет понять, что в модель *World3* встроены определенные самоограничения по численности населения и по капиталу. Строение модели таково, что рано или поздно население планеты достигнет максимума и начнет уменьшаться, если промышленная продукция на душу населения достигнет достаточно высоких значений. В «реальном мире» мы не видим никаких предпосылок к тому, что богатые люди или страны когда-нибудь потеряют интерес к тому, чтобы стать еще богаче. Поэтому встроенные в модель тенденции основаны на предположениях, что владельцы капитала продолжают получать прибыли с него и будут стремиться увеличивать капитал неограниченно, и что потребители всегда будут стремиться увеличить потребление. Эти предположения, кстати, будут намеренно изменены в главе 7 и представленных в ней сценариях.

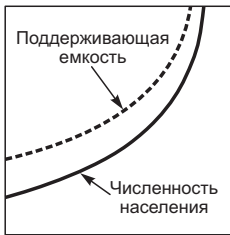
На рис. 4.8 также отражен один из самых известных принципов моделирования: GIGO (Garbage In, Garbage Out) — «мусор на входе, мусор на выходе». Если вы строите модель на основе нереалистичных допущений, наполняете модель бесполезными данными, мусором, то и на выходе получите неправдоподобные результаты, место которым — в мусорной корзине. Компьютер может предоставить вам логические выводы из сделанных вами допущений, однако он не в состоянии оценить правдоподобность самих допущений. Если вы заложили в модель предположение о том, что промышленный капитал может вырасти в 40 раз, что физические пределы больше не имеют значения, что технические новшества можно внедрить на промышленных предприятиях уже через 2 года после разработки и без затрат, то модели ничего не остается, кроме как показать вам на выходе виртуально неограниченный экономический рост наряду со снижающейся экологической нагрузкой. Самый важный вопрос при прогоне такой модели (да и любой другой тоже): правдоподобны ли исходные допущения?

Мы не считаем правдоподобными допущения, на которых основан рис. 4.8. Этот сценарий утопичен, реализовать его на практике невозможно, поэтому мы назвали его «Сценарием двух НЕ» — **Неограниченный вход, Неограниченный выход**. В общем, **Нереализуемый сценарий**... Если же задать модели более реалистичные допущения, то она выдаст более правдоподобные результаты: поведение системы в условиях, когда сказываются физические пределы.

## Пределы и запаздывания

*Растущий физический объект по мере приближения к пределу замедляется, а затем остановится (S-образная, логистическая кривая) только в том случае, если получит точные и своевременные сигналы о том, где он находится по отношению к пределам, и если его отклик на эти сигналы будет быстрым и точным (рис. 4.9б).*

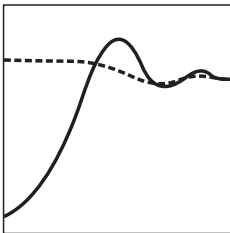
Представьте себе, что вы ведете машину, и светофор впереди переключается на красный. В обычных условиях вы можете плавно затормозить и остановиться перед светофором, поскольку вовремя получили точный визуальный сигнал — красный свет; поскольку



Время →

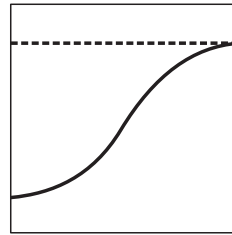
а) непрерывный рост возможен при условии, что:

- физические пределы еще очень далеки или
- физические пределы сами демонстрируют экспоненциальный рост



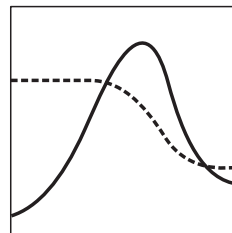
в) выход за пределы и колебания возможны при условии, что:

- сигналам или откликам на них свойственно запаздывание и
- пределы не подвержены разрушению или способны быстро восстанавливаться



б) S-образный рост (логистическая кривая) возможен при условии, что:

- сигналы экономике от физических пределов поступают оперативно, точно, и на них поступает своевременный отклик, или
- численность населения и экономика сознательно ограничивают себя сами, не needing для этого в сигналах извне



г) выход за пределы и последующая катастрофа наступают при условии, что:

- сигналам или откликам на них свойственно запаздывание и
- пределы подвержены разрушению (и в определенный момент разрушение становится необратимым)

**Рис. 4.9.** Структурные причины четырех возможных типов поведения в модели World3

ваш мозг быстро на это отреагировал, приказав ноге нажать на тормоз; и поскольку машина немедленно отзывается на это нажатие, а вы из своего опыта знаете, насколько быстро она сможет остановиться, то дозируете нажатие на педаль тормоза.

Если же часть ветрового стекла со стороны водителя запотела, и вы вынуждены спрашивать своего пассажира о том, какой горит свет, то задержка с получением ответа (даже короткая) может привести к тому, что вы проедете на красный или заранее должны будете сбросить скорость, компенсируя этим возможное запаздывание. Если же пассажир сказал неправду, или вы решили, что ослышались, или если тормоза сработают только через пару минут, или если на дороге гололедица, то остановиться вы сможете только через несколько сотен метров. К этому моменту, возможно, вы не только проскочите несколько красных светофоров, но и попадете в аварию.

Если сигналы обратной связи запаздывают или искажаются, если им не верят или отрицают их существование, если в ответных действиях системы заключается ошибка или система может ответить только после большого запаздывания, то ей не удастся вписаться в допустимые пределы и прийти к равновесному состоянию. Если имеет место хотя бы одно из перечисленных условий, то система отреагирует слишком поздно и выйдет за пределы (рис. 4.9в, г).

Мы уже описывали некоторые виды задержек, связанных с поступлением информации и принятием ответных действий. Один из примеров — запаздывание между моментом, когда загрязнитель попадает в биосферу, и моментом, когда становится заметен вред, наносимый им здоровью человека или производству продовольствия. Так, между выбросом молекулы хлорфторуглерода в атмосферу на уровне земной поверхности и началом разрушения стратосферного озонового слоя проходит 10–15 лет. Важно учитывать еще и политические задержки и препятствия. Часто между обнаружением проблемы и ее признанием проходят годы, а согласованные меры принимаются еще позже. Такие запаздывания мы рассматриваем в следующей главе.

Важность запаздываний может проиллюстрировать история с утечкой в окружающую среду полихлорированных бифенилов, ПХБ. С 1929 г. мировая промышленность произвела около 2 млн т маслянистого, устойчивого, негорючего соединения — ПХБ\*. Их использовали в основном для рассеивания тепла в электрических конденсаторах и трансформаторах, но также и в качестве рабочей жидкости

※

Полихлорированные бифенилы, ПХБ (они же полихлорированные дифенилы, ПХД) — группа из 209 органических соединений, получаемых присоединением атомов хлора к различным атомам углерода в бензольных кольцах в молекуле, называемой бифенильной. Все эти соединения в природе не встречались — они созданы человеком.



в гидравлических системах, и как смазочный материал, огнезащитное вещество, компонент пестицидов, красок, лаков, чернил и копировальной бумаги без пачкающего слоя. За 40 лет использования полихлорированные бифенилы попали на свалки, в зоны вдоль дорог, в канализацию, грунтовые воды и поверхностные водоемы, ведь тогда о возможных последствиях для окружающей среды никто не думал. Когда в 1966 г. проводилось знаменитое исследование содержания ДДТ в окружающей среде, датский исследователь Серен Йенсен сообщил, что кроме ДДТ повсеместно были обнаружены и другие токсичные вещества — ПХБ\*. Затем другие исследователи подтвердили, что ПХБ обнаруживаются практически в любой экосистеме земного шара.

Растворимость большинства ПХБ в воде низка, но в жирах эти соединения растворяются хорошо, поэтому время их жизни в окружающей среде очень велико. Они быстро разносятся атмосферными потоками, медленно продвигаются в почвенной среде и донных отложениях ручьев, рек и озер, пока не попадут внутрь какого-нибудь живого организма. В нем они накапливаются в тканях, и по мере перемещения по пищевым цепям концентрация только увеличивается. Полихлорированные бифенилы обнаруживаются в больших концентрациях в тканях хищных рыб, морских птиц и млекопитающих, в жировых тканях человека и в женском грудном молоке.

Информация о влиянии ПХБ на здоровье человека и других животных очень скудна. Оценить такое воздействие достаточно сложно, поскольку под общим названием ПХБ скрывается 209 соединений, относящихся к одному семейству, но эффекты они могут вызывать разные. Тем не менее уже установлено, что некоторые ПХБ нарушают обмен веществ. Они имитируют действие одних гормонов (например, эстрогена) и блокируют действие других (например, гормонов щитовидной железы). В результате сигналы, управляющие обменом веществ, искажаются, и поведение системы меняется. От этого страдают любые живые организмы, обладающие эндокринной системой — птицы, киты, полярные медведи, люди... Соединения, нарушающие обмен веществ, даже в маленьких концентрациях способны вызвать в организме настоящий хаос, и это особенно опасно для эмбрионов. Зарождающаяся жизнь может вообще погибнуть или растущему организму будет нанесен непоправимый вред — могут быть затронуты нервная система, интеллект, половые функции...\*\*

\*

См.: *Jensen S.* New Scientist. 1996. 32. С. 612.

\*\*

Общее представление о соединениях, нарушающих обмен веществ, можно получить из книги: *Colborn T., Dumanoski D., Myers J. P.* Our Stolen Future. New York: Dutton, 1996. В ней также содержатся сотни ссылок на быстро пополняющийся список научной литературы по этой теме.



ПХБ можно встретить практически в любом элементе глобальной экосистемы. В атмосферу ПХБ попадают в основном из гидросферы... Отложения ПХБ были обнаружены в реках, озерах, океанических зонах... Детальное исследование экосистемы Великих озер показало, что ПХБ накапливаются в живых тканях и передаются по пищевым цепям.

*«Природа Канады», 1991 г.*

ДДТ и ПХБ — единственные хлорорганические соединения, систематически обнаруживаемые в тканях арктических морских млекопитающих... Содержание ПХБ в грудном молоке эскимосских женщин — одно из самых высоких зарегистрированных значений... Потребление большого количества рыбы и мяса морских животных — вероятно, основная причина накопления ПХБ в тканях человека... Эти результаты показывают, что такие токсичные соединения, как ПХБ, могут существенно влиять на снижение иммунитета и распространение инфекционных заболеваний среди эскимосских детей.

*Е. Дивайли, 1989 г.*

[В Ваддензее — Ваттовом море, мелководной зоне у побережья Нидерландов], репродуктивная способность тюленей, получающих пищу с высоким содержанием [ПХБ], существенно снизилась... [это показывает, что] общее уменьшение поголовья тюленей связано с потреблением рыбы из загрязненных районов... Исследования подкрепляются результатами экспериментов на норках — их способность к воспроизводству также снижалась из-за содержания ПХБ.

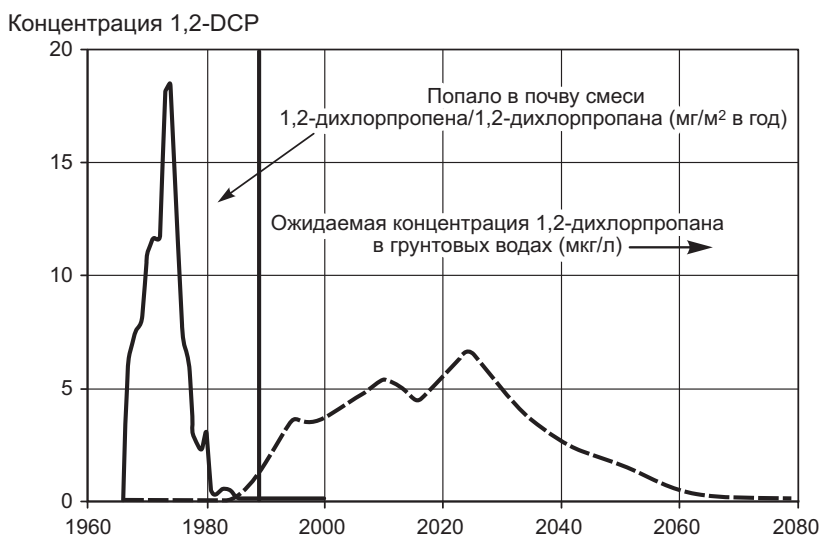
*П. Дж. Х. Рейндерс, 1986 г.*

Поскольку ПХБ относятся к стойким соединениям, перемещаются медленно и накапливаются в верхних звеньях пищевых цепей, их называют «биологической бомбой замедленного действия». Хотя с 1970-х гг. производство и использование ПХБ запрещены во многих странах\*, тем не менее, в мире по-прежнему присутствует много этих соединений. Из общего количества когда-либо произведенных полихлорированных бифенилов большая часть все еще используется или хранится на заброшенных электроподстанциях. В странах со строгим природоохранным законодательством большие количества старых ПХБ захоранивают или утилизируют с помощью сжигания в особых условиях, при которых разрушается молекулярная структура соединения, и оно перестает быть опасным. Оценка, проведенная

\* СССР прекратил производство бифенилов только в 1990 г.

в 1989 г., показала, что примерно 30% суммарного количества произведенных бифенилов уже попало в окружающую среду. Только 1% достиг океанской среды. Остальные 29% распределились по почве, рекам, озерам, откуда они будут десятилетиями перемещаться в ткани живых организмов\*.

На рис. 4.10 приведен еще один пример запаздывания при загрязнении окружающей среды — медленное проникновение химикатов в грунтовые воды через почву. С 1960 г. в Нидерландах для обработки почвы при выращивании картофеля и луковиц цветов широко применялось дезинфицирующее вещество 1,2-дихлорпропен (DCPe). Оно содержит загрязнитель 1,2-дихлорпропан (DCPa), который, как теперь уже знают ученые, в грунтовых водах имеет практически бесконечный срок жизни. Использование дихлорпропена было оконча-



**Рис. 4.10.** Медленное проникновение 1,2-дихлорпропана в грунтовые воды

Дезинфицирующий химикат для обработки почв DCP широко применялся в Нидерландах в 1970-е гг., пока его использование не было ограничено, а затем окончательно запрещено в 1990 г. В результате концентрация DCP в верхних слоях почвы сельскохозяйственных угодий резко уменьшилась. Расчеты, проведенные в 1991 г., показывают, что концентрация 1,2-дихлорпропана в грунтовых водах достигнет максимума не раньше 2020 г., и что в воде даже во второй половине XXI в. будет присутствовать существенная концентрация этого химиката. (Источник: N.L. van der Noot.)

\* См. материалы: Marquenie J. M., Reijnders P. J. H. Global Impact of PCBs with Special Reference to the Arctic // Proceedings of the 8th International Congress of Comité Arctique Internationale. 1989. Oslo. September 18–22. Lillestrom, Norway: NILU.

тельно запрещено в 1990 г. Для водосборного бассейна одного из водоемов был проведен оценочный расчет, который показал, что вещество ДСР<sub>а</sub>, уже находящееся в почве, проникнет в грунтовые воды и накопится там в ощутимой концентрации только после 2010 г. Затем загрязнитель будет находиться в грунтовых водах по меньшей мере в течение столетия, причем его максимальная концентрация в 50 раз превысит значение предельно допустимой концентрации, указанной в стандарте Евросоюза на питьевую воду.

Эта проблема затронула не только Нидерланды. В США сельскохозяйственное использование ДСР было запрещено в 1977 г. Но до сих пор специалисты, работающие по программе контроля над использованием пестицидов штата Вашингтон, обнаруживают это соединение в концентрациях, опасных для здоровья человека. Мониторинг грунтовых вод охватил 243 области в 11 регионах США, где проводилось исследование в период 1988–1995 гг.\*

Запаздывания в различных подсистемах модели *World3* могут быть также следствием возрастной структуры населения. В стране, где еще недавно коэффициент рождаемости был очень высок, население состоит в основном из молодых людей — их гораздо больше, чем представителей старших поколений. И даже если рождаемость существенно снизится, численность будет продолжать расти еще несколько десятилетий, по мере того, как молодежь сначала войдет в фертильный возраст, а потом будет постепенно выходить из него. Хотя детей в одной семье меньше, количество самих семей становится больше. Даже если к 2010 г. во всем мире рождаемость снизится до уровня простого воспроизводства (чуть больше 2 детей на среднестатистическую семью), все равно из-за демографической инерции численность населения будет расти до 2060 г. и стабилизируется на уровне 8 млрд человек.

В «реальном мире» существует еще множество других запаздываний. Запасы невозобновимых ресурсов могут расходоваться на протяжении поколений, прежде чем их истощение приведет к серьезным экономическим последствиям. Промышленный капитал тоже создается не за один день. Однажды пущенный в работу, он находится в обороте десятилетиями. Нефтеперерабатывающий комбинат невозможно быстро перепрофилировать, например, в завод по сборке тракторов или больницу — все это очень непросто. Масса времени уходит на то, чтобы сделать уже имеющееся нефтеперерабатывающее производство более эффективным и менее вредным для окружающей среды, не говоря уж о конверсии.

\*

См. отчет: *Larson A. Pesticides in Washington State's Ground Water, A Summary Report, 1988–1995 // Report 96–303, Washington State Pesticide Monitoring Program, January 1996.*

В модели *World3* в циклах обратных связей заложено много запаздываний, включая все перечисленные выше. Мы считаем, что между выбросом загрязнителя в среду и моментом, когда он начинает проявлять свое негативное воздействие, проходит определенное время. Мы полагаем, что населению на изменение традиционного желаемого размера семьи нужно как минимум поколение после того, как снизится детская смертность. В модели *World3* потребуется не меньше нескольких десятилетий на перераспределение инвестиций и развертывание новых производственных мощностей в ответ на нехватку продовольствия и услуг. Время нужно на все, в том числе и на восстановление продуктивности земель, и на разложение загрязнений средой.

Простых и непреодолимых физических запаздываний вполне достаточно для того, чтобы сделать в принципе невозможным самопроизвольный *S*-образный переход мировой экономической системы к устойчивому состоянию. Поскольку в системе сигналы от природных пределов запаздывают, выход за пределы становится неизбежным, если только не начнут работать внутренние ограничители. К чему же приведет такой выход за пределы — к затухающим колебаниям или к катастрофе?

## Выход за пределы и колебания

*Если предупреждающие сигналы растущему объекту от пределов поступают с запаздыванием или задерживается отклик на них, если окружающая среда при выходе за пределы не претерпевает значительных разрушений, то растущий объект на некоторое время выйдет за пределы, затем его поведение изменится, объект впишется в пределы, затем снова выйдет за них и т. д. Колебания будут уменьшаться, пока состояние не станет равновесным на допустимом уровне (рис. 4.9в).*

Выход за пределы и последующие колебания возможны только в том случае, если окружающая среда не подвержена большому разрушению в период выхода за пределы или способна быстро восстанавливаться за время до следующего выхода.

Возобновимые ресурсы — леса, почвы, рыба, пополняющиеся водоносные горизонты — могут быть разрушены, однако обладают и способностью постепенно восстанавливаться. После периода чрезмерного использования (если, конечно, оно не подорвало ресурсы полностью) в почвах постепенно восстанавливается содержание питательных веществ, в водоносных горизонтах снова накапливается вода и т. д. — ресурсы постепенно восполняются. Через определен-

ное время, если есть почва, семена и подходящий климат, даже лес может появиться снова. Популяция рыбы вернется к прежнему уровню, если не разрушен ее ареал обитания и не подорвана пищевая база. Почвы тоже можно восстановить, особенно если фермеры приложат к этому целенаправленные усилия. Концентрация многих видов загрязнений в среде уменьшится, если естественные природные механизмы самоочищения не были нарушены необратимо.

Получается, что выход за пределы и колебания — вполне реальная возможность для мировой системы. Такое уже бывало с определенными видами ресурсов в локальном масштабе. В Новой Англии, например, несколько раз повторялся цикл с деревообрабатывающими предприятиями. Устойчивое лесопользование в регионе позволяло загрузить определенные мощности, поэтому строились новые лесопильные заводы. Когда они начинали работу, запасы строевого леса быстро истощались, и лесопилки приходилось закрывать. Промышленность выжидала несколько десятилетий, пока лес не вырастет опять, и тогда снова начиналось строительство новых лесопильных предприятий. Прибрежное рыболовство в Норвегии прошло как минимум через один цикл истощения рыбных ресурсов: правительство выкупало рыболовецкие суда и пускало их на металлолом, пока популяция рыбы не восстановилась настолько, чтобы лов можно было начать снова.

Период снижения после выхода за пределы и постоянные колебания — не очень-то приятные события для тех, кого они касаются. Для отраслей промышленности, зависящих от истощившегося ресурса, наступают нелегкие времена, да и население может испытывать проблемы со здоровьем из-за высокого уровня загрязнения. Разумеется, колебаний лучше избегать. Но, по крайней мере, они не всегда смертельны для системы в целом.

Если же разрушения необратимы, то выход за пределы может привести систему к катастрофе. Никто не может вернуть исчезнувшие виды животных и растений. Ископаемые виды топлива расходуются безвозвратно. Некоторые загрязнители — например, радиоактивные вещества — нельзя превратить в безопасные никаким способом. Если климат изменится значительно, то распределение температур и осадков по планете уже не вернется к прежнему за обозримые периоды времени (по человеческим меркам — никогда). Об этом свидетельствуют геологические данные. Даже возобновимые ресурсы и способность среды разлагать загрязнения можно полностью разрушить, если долгое время чрезмерно их эксплуатировать. Когда тропические леса сводят грубыми способами, исключаящими самовосстановление экосистем, когда в пресные источники проникает соленая морская вода, когда почвы выносятся стоками с полей так, что на их

месте оголяется скальная порода, когда кислотность почвы меняется настолько, что из нее вымываются тяжелые металлы — тогда самоподдерживающая емкость планеты уменьшается необратимо. Или, по крайней мере, необратимо в сравнении с продолжительностью существования человеческого вида.

Таким образом, выход за пределы и колебания — это не единственная перспектива, с которой может столкнуться человечество при достижении пределов роста. Существует еще одна возможность.

## Выход за пределы и катастрофа

*Если сигнал от предела или отклик на него запаздывает, и если окружающая среда при выходе за пределы разрушается необратимо, то растущая экономика выйдет за пределы самоподдержания, ресурсная база будет подорвана, и наступит катастрофа (см. рис. 4.9г).*

Из-за выхода за пределы и последующей катастрофы состояние окружающей среды ухудшится необратимо, и тогда материальный уровень жизни уже никогда не будет высоким.

Разница между выходом за пределы с последующими колебаниями и выходом за пределы с последующей катастрофой заключается в том, что в системе есть *циклы разрушения окружающей среды*. Такие положительные обратные связи приводят к самым тяжелым последствиям. При обычном развитии событий они не активны, однако при ухудшении ситуации приобретают решающее значение и делают ее еще хуже, усиливая разрушительные тенденции все больше и больше.

Например, луга и пастбища на всей планете эволюционировали вместе с травоядными животными — бизонами, антилопами, ламами, кенгуру... Когда травяной покров съеден, остающиеся в почве корни и нижние части стеблей получают из почвы больше воды и питательных веществ, и трава вырастает снова. Численность травоядных контролируют хищники, на нее влияют сезоны миграций и болезни. Экосистема не разрушается, а пребывает в динамическом равновесии. Но если хищников из нее удалили, если миграция стала невозможной или просто популяция травоядных слишком разрослась, тогда стада могут не только выесть всю траву, но и повредить корни. С этого момента начинается быстрая эрозия.

Чем меньше остается растительности, тем меньше она удерживает почву. Лишившись защиты, частицы почвы уносятся ветром или смываются дождевыми потоками. Чем меньше остается почвы, тем меньше на ней может появиться растительности. Прогрессирующая нехватка растительности вызывает прогрессирующую эрозию поч-

вы и т. д. Плодородие земли утрачивается по нарастающей, пока бывший луг не превращается в пустыню.

В модели *World3* существует несколько циклов, описывающих подобное саморазрушение. Например:

- если люди голодают, им приходится эксплуатировать землю более интенсивно. Это позволяет в кратковременной перспективе получить больше продовольствия, но требует очень больших инвестиций в долгосрочной перспективе, чтобы поддерживать плодородие почв. Если таких инвестиций не делать, то по прошествии некоторого времени производство продовольствия быстро снижается;
- допустим, появляется какая-либо проблема, для решения которой необходимо задействовать больше промышленной продукции — например, загрязнение окружающей среды требует, чтобы везде были установлены очистные сооружения; или наступил голод и потому необходимо срочно передать больше промышленной продукции в сельскохозяйственный сектор; или ресурсов не хватает и потому необходимо стимулировать разработку и освоение новых ресурсов. В таких случаях средства выделяются для решения насущных проблем, а не на поддержание промышленного капитала и амортизацию. В результате промышленное производство постепенно приходит в упадок, что в будущем приводит к уменьшению производства промышленной продукции. Уменьшение количества продукции может привести к дальнейшему уменьшению отчислений на амортизацию, что приведет к дальнейшему уменьшению промышленного капитала, и т. д.;
- если экономика ослаблена, производство услуг на душу населения может уменьшиться. Уменьшение финансирования программ планирования семьи может привести к тому, что рождаемость увеличится. Численность населения возрастет, что еще сильнее уменьшит количество услуг на душу населения;
- если уровни загрязнения стали слишком высокими, это может привести к разрушению природных механизмов самоочищения, в результате скорость разложения загрязнений средой уменьшится, и тогда загрязнение возрастет еще больше.

Заметить последствия последнего из перечисленных механизмов саморазрушения, связанного с природными механизмами разложения загрязнений, очень трудно. На этот счет у нас было очень мало информации во время создания первой модели *World3* более 30 лет назад. В тот период у нас были данные об отложении пестицидов в водоемах (что уничтожало в них те организмы, которые при нор-



мальных условиях разлагали органические отходы); а также информация о выбросах в атмосферу оксидов азота и летучих органических соединений (которые вступали друг с другом в реакцию, образуя фотохимический смог, гораздо более вредный, чем эти вещества по отдельности).

С тех пор стали известны и другие примеры того, как разрушаются природные механизмы самоочищения. Один из них — установленная способность нестойких загрязнителей воздуха, таких как монооксид углерода, резко уменьшать присутствие в воздухе гидроксильных радикалов, выполняющих функцию природных очистителей. При нормальных условиях гидроксильные радикалы вступают в реакцию с метаном (парниковым газом) и разрушают его. Если из-за загрязнения в атмосфере не хватает гидроксильных радикалов, концентрация метана будет расти. Загрязнение воздуха нестойкими веществами, разрушающими природные механизмы разложения загрязнений, может вести к тяжелым последствиям в долгосрочном масштабе — дальнейшему изменению климата\*.

Еще один пример разрушительных процессов — способность загрязнителей воздуха наносить вред лесам и даже приводить к их исчезновению, что уменьшает сток для другого парникового газа — диоксида углерода. И еще один — закисление почв из-за промышленных выбросов или применения химических удобрений. Почвы при нормальном уровне кислотности способны сорбировать загрязнения. Они связывают и изолируют тяжелые металлы, не допуская их попадания в поверхностные водоемы и грунтовые воды и, следовательно, в живые организмы. Однако в кислой среде такие химические связи разрушаются. В. М. Стиглиани в своей работе, опубликованной в 1991 г., описывает этот процесс:

---

«При закислении почвы токсичные тяжелые металлы, связанные и накопленные за продолжительное время (десятилетия или даже целое столетие), могут высвобождаться и быстро поступать в грунтовые и поверхностные воды либо оказываться в тканях растений. Наблюдающееся сейчас в Европе закисление почв из-за кислых осадков — явная причина выщелачивания тяжелых металлов и связанных с этим проблем»\*\*.

---

\* См. публикацию: *New Cause of Concern on Global Warming* // *New York Times*. 1991. February 12.

\*\* См. работу: *Stigliani W. M. Chemical Time Bombs* // *Options*. Laxenburg, Austria: International Institute of Applied Systems Analysis, September 1991. С. 9.



В «реальном мире» существуют не только те циклы положительных обратных связей, что мы включили в модель *World3*, но и масса других, и все они способны приводить к быстрым разрушениям. Пока мы упомянули возможные разрушения в физических и биологических системах. Но подобные же тяжелые последствия могут наступать и в социальных системах. Если правящая верхушка в стране считает допустимым, чтобы в обществе был настолько велик разрыв в благосостоянии между различными классами, то будут приниматься такие законы, которые еще больше увеличат разницу между элитой и остальными гражданами. Такое неравенство может привести к возникновению социальной напряженности в средних классах и проявлению недовольства, вплоть до открытого противостояния. Беспорядки, возникающие при подобных акциях протеста, могут стать поводом к принятию репрессивных мер. Применение силы еще больше отдаляет правящий класс от остального населения и усиливает его убежденность в том, что большая разница в благосостоянии в обществе вполне приемлема и является нормой. Разрыв в уровне достатка еще больше увеличивается, недовольство и протесты населения еще усиливаются, и это может привести к еще более жестким репрессиям. В конце концов может начаться революция или гражданская война.

Любые механизмы саморазрушения сложно описать численно, поскольку это комплексное явление, затрагивающее все элементы системы и множественные связи между ними. Такие события проявляются только тогда, когда в системе и без того создалось напряжение. К моменту, когда оно становится очевидным, разрушение уже очень сложно остановить. Несмотря на некоторую неопределенность и сложность этого явления, мы можем с уверенностью заявить: любая система, в которой заключен скрытый процесс саморазрушения, может в конце концов прийти к катастрофе, если будет допущен выход за пределы.

Локальные выходы за пределы и катастрофы в мире уже наблюдались не раз: процессы опустынивания, истощения минеральных ресурсов и грунтовых вод, отравление почвы сельскохозяйственных угодий или лесов стойкими токсичными отходами, исчезновение видов животных и растений... В глобальном масштабе выход за пределы и катастрофа могут означать разрушение основных природных циклов, регулирующих климат, очищающих воду и воздух, воспроизводящих биомассу, поддерживающих биологическое разнообразие, преобразующих отходы одних природных процессов в питательные вещества для других. Когда мы опубликовали первое издание книги в 1972 г., большинство людей были убеждены, что в глобальном масштабе человек никогда не сможет нанести природным процессам серьезный вред и уж тем более разрушить их. А сей-

час примеры такого разрушения попали в заголовки газет и стали постоянным предметом обсуждения на встречах ученых и при проведении международных переговоров\*.

## Модель *World3*: два возможных сценария

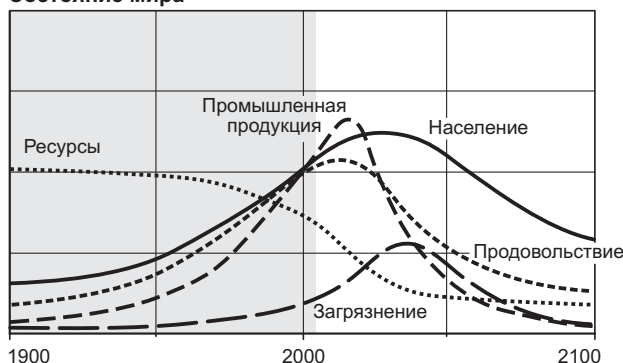
В имитированном мире модели *World3* основная цель — рост. Численность населения в модели перестанет расти только тогда, когда оно станет очень богатым. Экономика перестанет расти только тогда, когда ее вынудят к этому пределы. Ресурсы в модели расходуются и истощаются из-за чрезмерного использования. Циклы обратной связи, которые соединяют элементы системы, включают в себе существенные запаздывания, а физические процессы обладают большой инерцией. Поэтому вас не должно удивлять, что самым распространенным сценарием поведения системы будет выход за пределы и катастрофа.

На рис. 4.11, в сценарии 1, показано «базовое» поведение модели *World3* с настройками, которые мы полагаем наиболее реалистичными — они с максимальным правдоподобием описывают состояние мира в конце XX в., без учета маловероятных или заведомо нереальных предположений об уровнях развития технологии или политических усилиях. В 1972 г. мы называли этот сценарий «стандартным». Но при этом вовсе не заявляли, что это самый вероятный вариант развития событий, да и теперь не преподносим его как предсказание будущего. Это просто стартовая точка, ориентир для последующего сравнения. Однако многие читатели почему-то воспринимали «стандартный» сценарий как ключевой, более важный, чем все остальные. Чтобы этого не повторилось в новом издании книги, мы отказались от названия «стандартный» и стали называть его «ориентировочным». И теперь по последовательным номерам упорядочены все сценарии, а не только их часть. «Ориентировочному» сценарию достался номер 1.

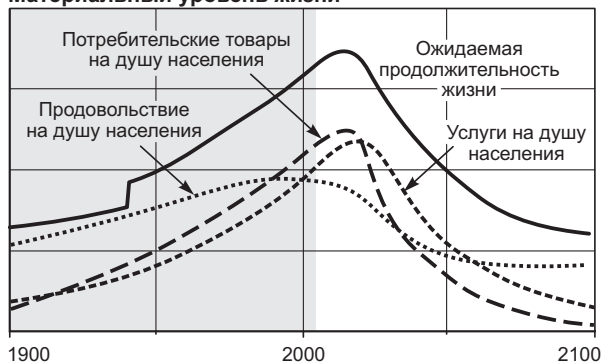
\*

В дополнение к переговорам и исследованиям по поводу разрушения озонового слоя, описанным в главе 5, и по поводу изменения климата, упомянутым в главе 3, существуют также международные программы исследований по «глобальным изменениям». Их финансирует Международный совет по науке (International Council of Scientific Unions, ICSU) и Всемирная метеорологическая организация (World Meteorological Organization, WMO). В список входят программы по изучению глобальных биосферных процессов (International Geosphere-Biosphere Program, IGBP), исследованию мирового климата (World Climate Research Program, WCRP), оценке гуманитарных и социальных аспектов глобальных изменений (International Human Dimensions Program, IHDP). Прикладываются также усилия на уровне отдельных стран и регионов — в качестве примера можно привести программу США по изучению глобальных изменений (U.S. Global Change Research Program).

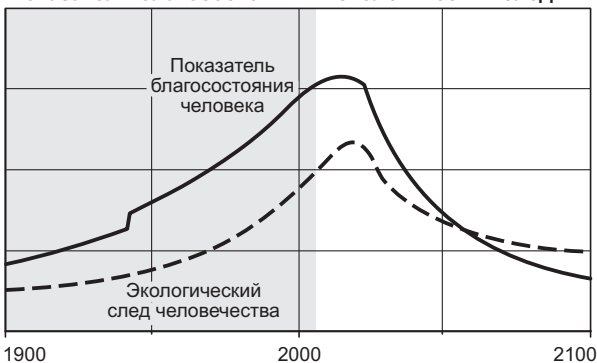
### Состояние мира



### Материальный уровень жизни



### Показатель благосостояния и экологический след



**Рис. 4.11.** Сценарий 1: ориентировочный

Мировое общество идет привычным путем без каких-либо существенных политических изменений до конца XX в. Численность населения и производство растут до тех пор, пока этому не положит конец увеличивающаяся нехватка невозобновимых ресурсов. Для поддержания потоков ресурсов требуется все больше и больше финансовых вложений. В конце концов нехватка инвестиций в других секторах экономики приводит к уменьшению производства промышленных товаров и услуг. Из-за этого приходят в упадок производство продовольствия и здравоохранение, что снижает ожидаемую продолжительность жизни и увеличивает коэффициент смертности.

В сценарии 1 общество идет привычным путем без серьезных политических изменений до тех пор, пока это не становится невозможным. В сценарии разворачивается всем хорошо известная история XX в. Производство продовольствия, промышленной продукции и социальных услуг возрастает в ответ на очевидные запросы, при условии, что в это вкладывается капитал. Никакие экстраординарные усилия к тому, чтобы уменьшить выбросы загрязнений, сэкономить ресурсы или защитить земли от деградации, не предпринимаются, если только это не ведет к немедленному получению прибыли. Смоделированный мир стремится провести все население планеты через демографический переход и достичь процветания за счет промышленной экономики. В сценарии 1 по мере роста сектора услуг в мире повсеместно развиваются здравоохранение и программы контроля над рождаемостью. В сельском хозяйстве используется все больше промышленной продукции, поэтому урожайность растет. Промышленный сектор развивается все больше, производство промышленной продукции возрастает, выбросы загрязнений увеличиваются, требуется все больше невозобновимых ресурсов.

Численность населения в сценарии 1 возрастает с 1,6 млрд человек в 1900 расчетном году до 6 млрд в 2000 г., и превышает 7 млрд к 2030 г. Суммарное производство промышленной продукции увеличивается с 1900 по 2000 г. почти в 30 раз, а затем еще на 10% к 2020 г. В период 1900–2000 гг. расходуется не более 30% запасов невозобновимых ресурсов планеты; к 2000 г. более 70% ресурсов еще сохраняются невостребованными. Уровень загрязнения в смоделированном 2000 г. только начал ощутимо расти, превышая уровень 1990 г. на 50%. Потребление промышленных товаров на душу населения в 2000 г. на 15% больше, чем в 1990 г., и примерно в 8 раз больше, чем в 1900 г.\*

\* Понятие «*потребительские товары на душу населения*» отражает долю промышленной продукции, направляемой на прямое потребление населением, — например, автомобили, бытовая техника, одежда и обувь. Это составляет порядка 40% суммарного производства. Сюда не входят продовольствие, услуги, инвестиции — они учитываются отдельно. В нашей модели потребительские товары, промышленная продукция и услуги отражают реальные, физические предметы и понятия, однако измеряются они в долларах, поскольку только такие единицы измерения используются в экономических расчетах. В исходной модели все вычисления проводились в долларовых ценах 1968 г., и причин менять подход у нас не было, поскольку нас интересуют относительные соотношения, а не абсолютная оценка благосостояния. Однако сейчас, спустя несколько десятков лет, людям сложно оперировать долларовыми ценами 1968 г. (доллар тогда был почти вчетверо весомее доллара 2000 г.), поэтому в обсуждениях в книге мы ограничиваемся только относительными экономическими понятиями.

Если закрыть рукой правую половину графиков сценария 1, чтобы были видны кривые только до 2000 г., то смоделированный мир выглядит вполне успешным и счастливым. Ожидаемая продолжительность жизни растет, производство услуг и товаров на душу населения увеличивается, суммарное производство продовольствия и промышленной продукции тоже идет вверх. Средний уровень благосостояния человека постоянно увеличивается. Лишь несколько тревожных симптомов появляется на горизонте: растут уровень загрязнения и экологический след, больше не увеличивается производство продовольствия на душу населения. Но в целом система продолжает демонстрировать рост, и нет почти никаких указаний на то, что впереди ее ждут грандиозные изменения.

Затем неожиданно в первые несколько десятилетий XXI в. экономический рост останавливается, и начинается крутой спад. Прекращение роста, длившегося так долго, вызвано быстро растущими ценами на невозобновимые ресурсы. Рост цен сказывается на различных секторах экономики в виде резко уменьшающихся инвестиций. Процесс можно подробно проследить.

В расчетном 2000 г. еще остается столько невозобновимых ресурсов, что этого должно хватить на 60 лет, если темпы потребления будут такими же, как в 2000 г. Пока что никакие пределы по ресурсам себя не проявили. Однако в 2020 г. остающихся ресурсов хватит уже только на 30 лет. Почему пределы так быстро приблизились? Это произошло потому, что потребление ресурсов выросло из-за увеличившихся населения и промышленного капитала, при этом остающиеся запасы постоянно уменьшались. В период 2000–2020 гг. численность населения выросла на 20%, а промышленное производство — на 30%. За два этих десятилетия в сценарии 1 растущее население и промышленный капитал израсходовали практически столько же невозобновимых ресурсов, что и вся мировая экономика за все предыдущее столетие! Естественно, теперь миру в его непрестанных усилиях продолжить рост нужно все больше капитала для поиска, добычи и переработки остатков невозобновимых ресурсов.

По мере того как в сценарии 1 добыть невозобновимые ресурсы становится все труднее и труднее, из других секторов экономики на это отвлекается все больше и больше капитала. Для инвестирования в сельскохозяйственный сектор и реинвестирования в промышленную экономику остается меньше промышленной продукции. В конце концов примерно в 2020 г. инвестиции в промышленную сферу уже не могут компенсировать выбывание капитала. (Это *физические* вложения и амортизация. Другими словами, изнашивается, выходит из строя и устаревает *физическое* оборудование. Речь идет

не о денежной амортизации, которую описывают книги по бухгалтеру.) В результате промышленность переживает резкий спад. Его в этой ситуации избежать невозможно, поскольку экономика не может перестать вкладывать капитал в ресурсодобывающие отрасли. А если бы могла, тогда нехватка сырья и топлива покончила бы с промышленным производством еще быстрее.

Поскольку на амортизацию и поддержание оборудования в рабочем состоянии средств не хватает, промышленное производство начинает снижаться. Следовательно, уменьшается и количество промышленной продукции, так нужной для поддержания роста капитала и направления в другие сектора экономики. В конце концов уменьшение промышленного производства приводит к спаду в аграрном секторе и сфере услуг, которые так или иначе зависят от поступлений промышленной продукции. На сельском хозяйстве в сценарии 1 это отражается особенно сильно, поскольку продуктивность земли и без того пострадала от чрезмерного использования. Это проявлялось даже до 2000 г. Производство продовольствия поддерживалось на высоком уровне только за счет того, что деградация земель компенсировалась широким использованием химических удобрений, пестицидов, оросительного оборудования, а все это дает промышленность. Чем дальше, тем хуже: численность населения продолжает расти из-за демографической инерции, в силу особенностей возрастной структуры населения и традиций при выборе желаемого размера семьи. Наконец, примерно в 2030 г., численность населения проходит максимум и начинает уменьшаться, так как из-за нехватки продовольствия и услуг здравоохранения возрастает коэффициент смертности. Средняя продолжительность жизни, составившая в 2010 г. 80 лет, начинает снижаться.

Этот сценарий иллюстрирует «кризис невозобновимых ресурсов». Это не *предсказание*. Сценарий не предназначен для того, чтобы точно прогнозировать значения тех или иных переменных в модели или оценивать время наступления тех или иных событий. Мы вовсе не утверждаем, что это наиболее вероятное будущее «реального мира». Чуть дальше мы покажем, что существует другая возможность будущего, а в главах 6 и 7 приведем много других вариантов. В том, что касается сценария 1, мы можем утверждать только следующее: он обрисовывает *общую схему поведения* системы, *если* политика, определяющая экономический рост и увеличение численности населения, в будущем останется такой же, что и в конце XX в., *если* технологии и цены будут изменяться примерно так же, и *если* заданные с некоторой неопределенностью численные параметры модели окажутся близкими к истине.

Что, если наши предположения неверны, а численные параметры заданы неточно? Чем будет отличаться поведение системы, если, например, запасы невозобновимых ресурсов в недрах планеты окажутся вдвое больше, чем мы задали в сценарии 1? Этот вариант показан на рис. 4.12, в сценарии 2.

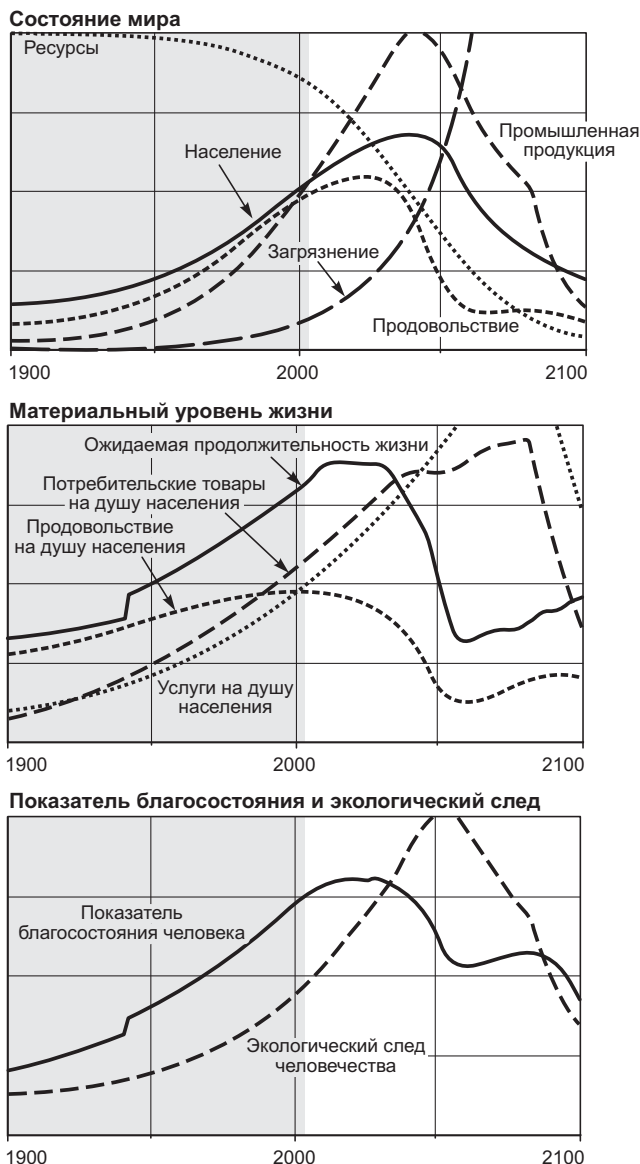
Как вы можете заметить, истощение ресурсов наступает существенно позже, чем в сценарии 1, и рост продолжается дольше. Он длится лишние 20 лет, и этого вполне достаточно для того, чтобы в промышленном производстве и потреблении ресурсов произошло очередное удвоение. Численность населения тоже увеличивается дольше, превышая 8 млрд человек к моменту достижения максимума в 2040 расчетном году. Но несмотря на эти достижения, общее поведение модели по-прежнему демонстрирует выход за пределы и катастрофу. Только основной причиной катастрофы на этот раз становится сильнейшее загрязнение окружающей среды.

Высокие уровни промышленного производства приводят к чрезвычайному усилению загрязнения. В сценарии 2 уровень загрязнения достигает максимума на 50 лет позже, чем в сценарии 1, и превышает его примерно в 5 раз. Такое сильное загрязнение частично объясняется большими объемами выбросов, частично — разрушением механизмов самоочищения среды, в результате разложение вредных веществ замедляется. В 2090 г., в самый тяжелый момент, среднее время жизни загрязнителей в среде более чем втрое превышает этот показатель для 2000 г. Экологический след растет также из-за необъятного количества химических удобрений, пестицидов и других сельскохозяйственных химикатов.

Загрязнение очень сильно сказывается на продуктивности земель — в сценарии 2 она в первой половине XXI в. опускается до очень низкого уровня. Даже увеличение инвестиций в восстановление земель, направленное на борьбу с утратой продуктивности, не помогает предотвратить падение урожайности и производства продовольствия: после 2030 г. оно происходит очень резко. Из-за этого растет смертность. В тщетной попытке справиться с голодом в сельскохозяйственный сектор направляются еще большие капиталы, и в результате из-за отвлечения средств от реинвестирования прекращается рост и в промышленном секторе.

Сценарий 2 иллюстрирует «глобальный кризис загрязнения окружающей среды». В первой половине XXI в. уровень загрязнения возрастает настолько, что это сказывается на продуктивности земель. В «реальном мире» такое может произойти из-за загрязнения почвы тяжелыми металлами или стойкими химическими соединениями; из-за изменения климата, меняющего растительные со-





**Рис. 4.12.** Сценарий 2: больше невозобновимых ресурсов

Если в системе вдвое больше невозобновимых ресурсов, чем мы предположили в сценарии 1, и если достижения в ресурсодобывающих технологиях позволят отодвинуть момент, когда цены на добычу начнут расти, то промышленность сможет развиваться дополнительные 20 лет. Численность населения достигнет максимального значения около 8 млрд человек в 2040 г., при этом уровень потребления будет гораздо выше, чем в сценарии 1. Однако загрязнение достигнет немыслимых значений (кривая даже выходит за пределы диаграммы), что приведет к уменьшению урожайности и потребует огромных инвестиций в сельское хозяйство. В конце концов численность населения снижается, поскольку продовольствия не хватает, а высокий уровень загрязнения оказывает негативное воздействие на здоровье людей.



общества быстрее, чем фермеры могут к этому приспособиться; из-за увеличения доли ультрафиолетового излучения, достигающей земной поверхности, потому что озоновый слой истощен. Продуктивность земель лишь слегка уменьшается в период с 1970 по 2000 г., снижается на 20% в период с 2000 по 2030 г., а к 2060 г. составляет лишь малую толику продуктивности 2000 г. В то же время эрозия почв очень велика. Суммарное производство продовольствия начинает уменьшаться в 2030 г., вынуждая экономику направлять основные инвестиции в сельскохозяйственный сектор, чтобы поддержать производство продуктов питания на достаточном уровне. Однако разрушительный эффект от загрязнения так силен, что производство продовольствия уже никогда не достигнет былого уровня. Во второй половине XXI в. на фоне нехватки продовольствия загрязнение достигает таких значений, что из-за этого средняя ожидаемая продолжительность жизни существенно уменьшается. Экологический след огромен, и лишь наступившая катастрофа уменьшит его до значений, характерных для прошлого столетия.

Какой из вариантов более вероятен, сценарий 1 или сценарий 2? Если бы мы попытались ответить на этот вопрос на основе научных данных, все упиралось бы в «истинные» неразведанные запасы невозобновимых ресурсов на планете. Однако ни у кого таких истинных данных нет, да и не может быть. В любом случае в модели необходимо проверить влияние многих других параметров, заданных с допусками, а также попробовать, к чему приведут различные технологические и политические изменения. К ним мы вернемся в главах 6 и 7. Все, что к этому моменту позволила нам узнать модель *World3*, — что смоделированная система склонна к выходу за пределы с катастрофическими последствиями. На самом деле в тех тысячах расчетов, что мы провели за все прошедшие годы, выход за пределы и катастрофа были самыми частыми результатами. Но это не значит, что они неизбежны. Наверное, читателям уже понятны причины такого поведения.

## **Почему система выходит за пределы и наступает катастрофа?**

Численность населения и экономика выходят за пределы в том случае, если они расходуют ресурсы или производят выбросы в окружающую среду со скоростью, не соответствующей самоподдерживающей емкости среды, и при этом отклики от окружающей среды недостаточны для того, чтобы вынудить нас уменьшить потребление ресурсов и производство отходов. Другими словами, человечество выходит за

пределы, если создаваемый им экологический след превышает уровень устойчивости, но не настолько сильно, чтобы негативные последствия проявились немедленно и заставили сразу же принять меры к снижению воздействия на окружающую среду.

Выход за пределы происходит из-за запаздывания сигналов обратной связи. Лица, принимающие решения в системе, не получают оперативной информации о выходе за пределы, или не верят ей, или не принимают в связи с этим нужные меры. Выход за пределы происходит в том числе и потому, что существуют большие запасы ресурсов, которые истощаются далеко не сразу. Подобных примеров можно привести много. Вы можете тратить в месяц больше денег, чем зарабатываете (хотя бы в течение некоторого времени), поскольку у вас есть сбережения на счете в банке. Можно сливать воду из ванны с большей скоростью, чем она поступает из крана, пока вся вода из ванны не вытечет. При вырубке можно заготовить больше древесины, чем вырастает за год, если под топор идет участок с уже имеющимся строевым лесом, который рос на протяжении многих десятилетий. Если у вас есть запасы фуража, то размер стада может быть огромным; если раньше рыбу в определенной зоне никто не ловил, то поначалу рыболовецкий флот может располагать колоссальным количеством траулеров. Чем больше накоплен начальный запас, тем позже наступает выход за пределы, но тем сильнее и резче он будет. Если общество ориентируется не на скорость возобновления ресурсов, а на объемы имеющихся запасов, то оно обязательно выйдет за пределы.

К запаздыванию предупреждающих сигналов добавляется еще и инерция самой системы — она служит причиной в запаздывании отклика на предупреждения. Система, даже если получает сообщение о проблеме и правильно интерпретирует его, все равно не может измениться за одну ночь. Уже накопленный капитал нельзя в одночасье уменьшить — на его выбывание нужно время. Оно же нужно лесам, чтобы вырасти, и людям, чтобы сменились поколения или среди населения распространились новые знания. Нужно время, чтобы загрязнители распространились в экосистеме, и еще больше времени, чтобы она от них очистилась. Чтобы система, обладающая определенной инертностью (запаздыванием в определенный промежуток времени), принимала правильные решения, необходимо постоянно смотреть вперед как минимум на такой же период. Чем больше времени занимает поворот океанского лайнера, тем дальше должен видеть его радар. Политические и рыночные системы мира смотрят вперед недостаточно далеко.

Свой вклад вносит еще один фактор: постоянное стремление к росту. Если вы едете на машине с запотевшими стеклами или неисправными тормозами, то первое, что вы должны сделать, чтобы не попасть в большие неприятности, — *замедлиться*. И уж точно не увеличивать скорость. С запаздываниями в системе можно справиться при условии, что она движется не слишком быстро — иначе просто не хватит времени, чтобы получить предупреждающий сигнал и отреагировать на него: к этому моменту система уже успеет столкнуться с пределами. Постоянное ускорение приведет к проблемам любую систему, она не успеет отреагировать вовремя, какой бы умной и предусмотрительной ни была. Даже абсолютно исправная машина с опытным водителем за рулем становится опасной на чрезмерной скорости. Чем быстрее рост, тем сильнее будет выход за пределы, и тем глубже спад. В настоящее время все политические и экономические системы мира нацелены на достижение максимально возможной скорости роста.

Выход за пределы превращается в катастрофу в тот момент, когда начинается разрушение, которое усиливается различными нелинейными факторами. Разрушение только усиливается и ширится, если не пресечь его в самом начале. Нелинейности того же типа, что были приведены на рис. 4.2 и 4.7, могут проиллюстрировать понятие *порогового значения*, при пересечении которого поведение системы резко меняется. Страна может добывать медь из все более бедной руды, но в определенный момент затраты на такую добычу подскакивают до запредельных высот. Почва может неявно страдать от эрозии долгое время, при этом урожайность зерновых не снижается, пока толщина плодородного слоя не станет меньше, чем глубина корней растений. Когда же порог будет пройден, эрозия моментально приведет к опустыниванию. Наличие пороговых значений должно заставить людей быть еще более осторожными: если вы не просто едете в машине с запотевшими стеклами и неисправными тормозами, но и дорога при этом извилистая, тем более надо снизить скорость.

Любая демографо-эколого-экономическая система, в которой есть запаздывание предупреждающих сигналов и откликов на них, пороговые значения и механизмы саморазрушения, и которая демонстрирует быстрый рост, в буквальном смысле слова *неуправляема*. Не имеет значения, какими чудесными технологиями она обладает, насколько эффективна ее экономика и настолько разумны правители — она не может уберечь себя от опасности. Если система постоянно стремится к ускорению, она неизбежно выйдет за пределы.

По определению, выход за пределы — это состояние, при котором запаздывающие сигналы от окружающей среды недостаточно сильны для того, чтобы положить конец росту. Как в таком случае общество может определить, что оно вышло за пределы? Первые признаки — истощение запасов ресурсов и увеличение уровней загрязнения. Есть и другие симптомы:

- чтобы скомпенсировать уменьшение «экологического обслуживания», которое раньше не вызывало лишних расходов, приходится привлекать дополнительные капиталы, ресурсы и рабочую силу — например, этого теперь требуют обработка сточных вод, очистка воздуха, воды, борьба с участвовавшими и усилившимися наводнениями и расплодившимися сельскохозяйственными вредителями, восстановление питательных веществ в почве, опыление, сохранение биоразнообразия и т. д.;
- капитал, ресурсы и рабочая сила отвлекаются от производства промышленной продукции и направляются на добычу ресурсов в более разбросанных и бедных месторождениях, расположенных дальше и залегающих глубже, чем те, что эксплуатировались раньше;
- развиваются новые технологии, позволяющие использовать доступные в небольших количествах, менее ценные ресурсы, обладающие низким качеством и низким содержанием целевых компонентов, поскольку высококачественные ресурсы уже израсходованы;
- разрушаются природные механизмы самоочищения, растут уровни загрязнения;
- выбывание капитала (амортизация) превышает инвестиции, его восполнение недостаточно, в результате капитал уменьшается, что особенно заметно в отраслях, где оборудование рассчитано на продолжительный срок службы;
- увеличиваются потребности в капитале, ресурсах и рабочей силе в промышленном и оборонном секторах, поскольку необходимо обеспечивать защиту и доступ к остающимся запасам ресурсов, которые могут быть расположены в удаленных областях, в том числе и на территории неприятеля;
- уменьшаются и откладываются на потом инвестиции в человеческие ресурсы (образование, здравоохранение, строительство жилья), поскольку средства в первую очередь направляются на немедленное потребление, неотложные вложения, уплату долгов или обеспечение обороноспособности;

- долги растут в процентном отношении к фактическому годовому объему производства;
- ухудшается состояние здоровья населения и состояние окружающей среды;
- увеличиваются частота и тяжесть конфликтов, особенно при дележе источников ресурсов и стоков;
- изменяется структура потребления, поскольку население больше не в состоянии платить за желаемое и может себе позволить только самое необходимое;
- растет недовольство методами управления и правительством, поскольку правящий класс все чаще применяет силу для того, чтобы сохранить или усилить свой контроль над истощающейся ресурсной базой;
- в природных системах усиливается хаос. «Природные» катаклизмы наступают чаще и становятся сильнее, поскольку устойчивость окружающей среды уменьшается.

Вы замечали такие симптомы в «реальном мире»? Если да, то вы уже должны подозревать, что выход за пределы сейчас в самом разгаре.

Он не обязательно приводит к катастрофе. Если быстро принять решительные меры, катастрофы можно избежать. В краткие сроки необходимо защитить ресурсную базу, резко уменьшив напрасные потери. Чрезмерные уровни загрязнения необходимо понизить, ограничить выбросы допустимым уровнем в соответствии с емкостью среды. Возможно, тогда не понадобится принудительно ограничивать численность населения, уменьшать капитал и снижать уровень жизни. А вот что точно необходимо быстро ограничить, так это потоки сырья и энергии. К счастью (нет худа без добра), в современной мировой экономике все настолько неэффективно и отходов так много, что потенциал для усовершенствований просто огромен. Главное, чтобы это позволило снизить экологический след человечества при сохранении или даже повышении уровня жизни.

Чтобы подвести итог, приведем основные положения модели *World3*, которые определяют ее стремление к выходу за пределы и катастрофе. *Если вы собираетесь раскритиковать нашу модель, предположения, книгу или выводы, то вот вам аргументы для дискуссии.*

- Рост в физической экономике считается благоприятным явлением, он желателен и составляет основу современных политических систем, психологических стереотипов и культурных традиций. Когда наблюдается рост численности населения и капитала, он стремится быть экспоненциальным.

- Потокам сырья и энергии, поддерживающим население и экологию, есть физический предел. И есть пределы стокам, которые способны поглощать выбросы и отходы человеческой деятельности.
- Растущие население и экономика получают сигналы о физических пределах с запаздыванием и искажением. Зачастую их воспринимают или интерпретируют неправильно, а то и вовсе отрицают существование пределов.
- Пределы системы не только конечны, они могут даже уменьшаться в результате разрушения. Это происходит, если слишком велика нагрузка, если чрезмерна эксплуатация. Более того, в силу вступают нелинейные зависимости: после достижения пороговых значений разрушение происходит очень быстро и может стать необратимым.

Такое перечисление причин выхода за пределы и катастрофы заодно дает и ключи к тому, как их избежать. Чтобы сделать систему управляемой, а ее поведение — устойчивым, необходимо внести в нее структурные изменения.

- Рост численности населения и капитала необходимо целенаправленными усилиями замедлить, а затем и остановить, чтобы предотвратить наступление проблем (вместо того чтобы дать ситуации ухудшаться до тех пор, пока система не выйдет за пределы и пока обратные связи не подтвердят это в явной форме).
- Потоки энергии и сырья необходимо уменьшить за счет значительного увеличения эффективности работы капитала. Другими словами, экологическая нагрузка должна быть снижена за счет меньшего использования энергии и материалов для получения тех же результатов, за счет более равномерного и справедливого распределения выгод от использования энергии и сырья, а также за счет изменений в стиле жизни населения (уменьшения запросов или смещения потребления из материальной сферы в нематериальную — сектор услуг, наносящий меньше вреда окружающей среде).
- Источники и стоки должны охраняться и поддерживаться в хорошем состоянии; их следует по возможности восстанавливать.
- Сигналы должны восприниматься более четко, а реакция на них быть оперативной. Общество должно больше думать о будущем и заглядывать на многие годы вперед, просчитывая последствия от своих действий в долгосрочной перспективе.
- Процессы разрушения и эрозии необходимо предотвращать, а если они все же имеют место, то останавливать, а затем принимать меры для устранения их последствий.

В главах 6 и 7 мы покажем, как подобные действия могут изменить стремление системы *World3* к выходу за пределы и катастрофе. Мы надеемся и хотим верить, что это поможет и «реальному миру». Но сначала сделаем небольшое отступление и в главе 5 приведем в пример одну историю, которая вселяет в нас большие надежды. Она проиллюстрирует все те динамические принципы, о которых мы только что говорили.

## Возвращение к устойчивому состоянию: озоновая история

---

Так или иначе, мы оказались в центре широкомасштабного эксперимента по изменению химической структуры стратосферы, хотя мы не имеем четкого представления о том, какими могут быть его биологические или метеорологические последствия.

*Ф. Шервуд Роуланд, 1986 г.*

В этой главе мы расскажем поучительную историю о том, как система вышла за очень важный предел, какими были последствия, как развернулась борьба за возвращение в пределы устойчивости и какие успехи были достигнуты. Эта история — об ограниченной способности стратосферного озонового слоя поглощать созданные человеком химические соединения хлорфторуглероды, ХФУ\*. Она внушает надежду, по крайней мере пока — ведь финальные главы этой истории будут написаны спустя как минимум несколько десятилетий. Она показывает, что люди и организации, несмотря на некоторые человеческие слабости, могут объединиться по всему миру, признать проблему выхода за пределы, а затем найти ей приемлемое решение и реализовать его. В этом случае человечеству удалось отделаться относительно малыми потерями, зато оно осознало, что это такое: жить в соответствии с пределами.

Основные события озоновой истории развивались так: первыми подняли тревогу ученые, заметив, что озоновый слой постепенно ис-

---

\* Различные виды хлор- и бромсодержащих соединений способны разрушать стратосферный озоновый слой — например, метилбромид (почвенный инсектицид), четыреххлористый углерод (растворитель), галоны (используются при тушении пожаров) и др. Однако основные разрушители озонового слоя — хлорфторуглероды (ХФУ), семейство соединений, содержащих помимо углерода фтор, хлор и водород. ХФУ были объектом многих исследований, и сейчас именно на ограничении их использования сфокусированы основные международные усилия. Поэтому в нашей истории мы тоже уделяем особое внимание именно ХФУ.



чезает. Им удалось преодолеть политические барьеры, чтобы организовать масштабное исследование проблемы. Однако для этого потребовалось преодолеть собственную ограниченность, а заодно и недостаток опыта в политических играх. Быстрая реакция потребителей позволила обратить вспять опасные тенденции, однако одной их активности было бы недостаточно для того, чтобы решить проблему окончательно. Правительства и корпорации поначалу отнекивались и действовали вяло, но затем некоторые из них показали себя настоящими лидерами, умеющими принимать волевые решения. Экологов поначалу называли «обезумевшими паникерами», но затем оказалось, что они даже недооценили проблему.

Соединенные Штаты в этой истории показали, что способны распространить важную информацию по всему миру и обеспечить нужную поддержку и помощь, поскольку проблема требовала, чтобы над ней работало все международное сообщество и чтобы в процессе участвовали правительства самых разных стран. Развивающиеся страны нашли в озоновом кризисе новую возможность действовать в собственных интересах, отказываясь от сотрудничества до тех пор, пока им не будет гарантирована техническая и финансовая помощь, в которой они действительно очень нуждались.

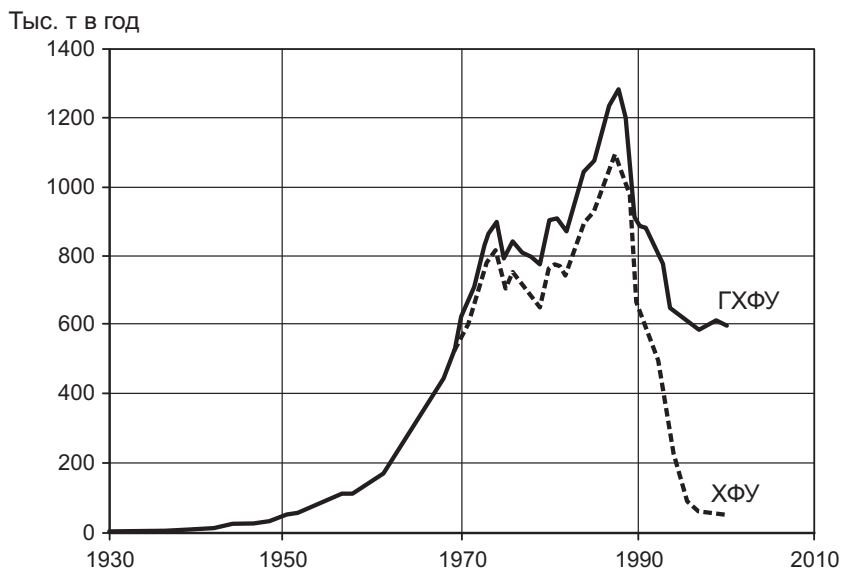
В конце концов страны мира признали, что превышен серьезный предел. Под давлением здравого смысла они, хоть и неохотно, согласились прекратить выпуск определенной промышленной продукции, несмотря на то, что она приносила большую прибыль и обладала полезными качествами. И произошло это до того, как проявился какой-либо ущерб для экономики, биосистем или человека, и даже до того, как ученые достигли полной уверенности в своих результатах. И очень похоже, что произошло как раз вовремя.

## Рост

Хлорфторуглероды (ХФУ) были впервые получены в 1928 г., и это одни из самых полезных соединений, когда-либо созданных человечеством. Они не токсичны для любых форм жизни (возможно, за счет своей химической стойкости), не горят и не вступают в реакцию с другими веществами, не вызывают коррозии. Их теплопроводность низка, поэтому они придают отличные теплоизоляционные свойства вспененным материалам, которые используются для производства стаканчиков для горячих напитков, упаковки для гамбургеров, утеплителей для стен. Некоторые ХФУ испаряются и могут конденсироваться при комнатной температуре, что делает их отличными хладагентами для холодильного оборудования и кондиционе-

ров (в этом случае они известны под торговым названием «фреоны»). ХФУ — хорошие растворители, их применяют для очистки металлических поверхностей, начиная со сложных электронных микросхем и до простых заклепок, используемых в авиастроении. ХФУ недороги в производстве, и их можно без последствий (по крайней мере, так думали раньше) выбрасывать в окружающую среду, выпуская в атмосферу в виде газа или отправляя использованную продукцию, содержащую ХФУ, на мусорные свалки.

Как показывает рис. 5.1, в период с 1950 по 1975 г. мировое производство ХФУ росло более чем на 11% ежегодно, практически удваиваясь каждые шесть лет. К середине 1980-х гг. промышленность производила миллионы тонн ХФУ в год. Только в США хлад-



**Рис. 5.1.** Мировое производство хлорфторуглеродов

Производство хлорфторуглеродов быстро расширялось до 1974 г., когда появились первые статьи об их пагубном воздействии на озоновый слой. Последующее снижение производства произошло благодаря активности защитников окружающей среды, которые призывали отказаться от аэрозольных баллончиков, содержащих в качестве пропеллента ХФУ. В результате в США в 1978 г. их использование действительно было запрещено. После 1982 г. расширение области применения ХФУ вызвало непродолжительный рост выпуска этих веществ, но с 1990 г. оно начало уменьшаться, поскольку уже были достигнуты международные договоренности о сворачивании их производства. Гидрированные ХФУ (ГХФУ) — заменители обычных ХФУ — все еще разрешены к применению; постепенное сворачивание их производства намечено на период с 2030 по 2040 г. (*Источник: Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study.*)

агенты на их основе использовались в 100 млн холодильников, 30 млн морозильных камер, 45 млн бытовых и 90 млн автомобильных кондиционеров, в сотнях тысяч холодильных шкафов и агрегатов в ресторанах, супермаркетах и авторефрижераторах\*. Среднестатистический житель Северной Америки или Европы расходовал примерно 0,9 кг ХФУ в год. Среднестатистический житель Китая или Индии за то же время использовал меньше 0,03 кг\*\*. Для ряда химических компаний в Северной Америке, Европе, России и Азии производство ХФУ было основным источником прибыли. И тысячи компаний использовали их в своих производственных процессах.

## Предел

Главное действующее лицо нашей истории — невидимый газ озон: три атома кислорода, связанных вместе ( $O_3$ ), в отличие от обычного кислорода, состоящего из двух атомов ( $O_2$ ). Озон настолько химически активен, что вступает в реакцию и окисляет практически все, с чем сталкивается. В нижних слоях атмосферы много различных частиц и поверхностей, поэтому оказавшаяся здесь молекула озона моментально вступает в реакцию. От этого могут пострадать и листья растений, и легкие человека. В слоях атмосферы, расположенных у поверхности Земли, озон является разрушающим веществом, но как загрязнитель имеет очень короткий срок жизни. В верхних слоях атмосферы все по-другому: там не так-то много молекул, поэтому срок жизни стратосферного озона велик и составляет, как правило, от 50 до 100 лет. В верхних слоях атмосферы озон постоянно образуется из обычного кислорода под воздействием солнечных лучей. Накопленный «озоновый слой» располагается на высоте от 9 до 32 км над поверхностью Земли.

Озоновый слой богат озоном только в сравнении с небольшим его количеством в других частях атмосферы. Из 100 000 молекул, находящихся на уровне озонового слоя, на самом деле только одна — действительно молекула  $O_3$ . Но этой концентрации вполне достаточно для того, чтобы поглотить большую часть чрезвычайно опасного ультрафиолетового излучения, относящегося к диапазону В (УФ-В).

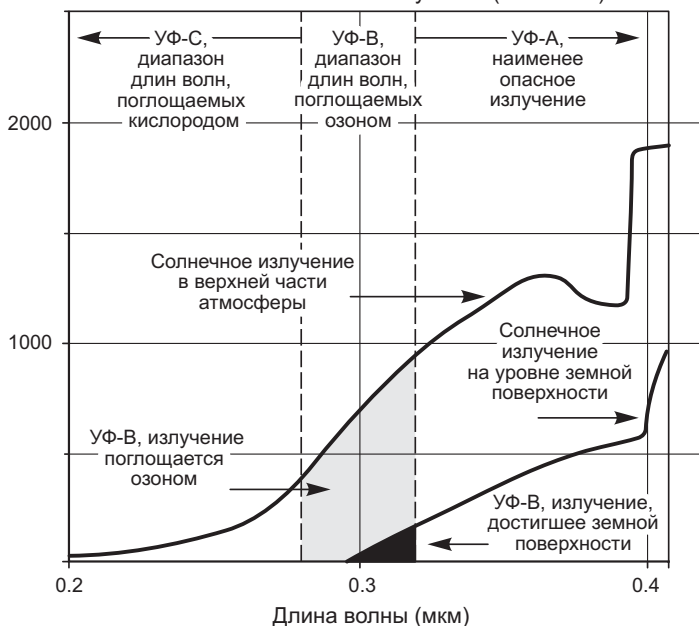
\* См. результаты исследования: *Makhijani A., Makhijani A., Bickel A. Saving Our Skins: Technical Potential and Policies for the Elimination of Ozone-Depleting Chlorine Compounds*. Washington, DC: Environmental Policy Institute and the Institute for Energy and Environmental Research, September 1988. С. 83. Материалы можно получить в США, в Институте политики в области окружающей среды: Environmental Policy Institute, 218 O Street SE, Washington, DC 20003.

\*\* См. там же, с. 77.

Ультрафиолет-В представляет собой составную часть солнечного излучения (рис. 5.2). Это поток квантов, обладающих такой энергией, что они способны разрушать органические молекулы, на которых построено существование всех форм жизни на Земле, в том числе молекулы ДНК, несущие генетический код. Несмотря на свою разреженность, озоновый слой выполняет чрезвычайно важную функцию.

Одно из возможных последствий от облучения живых организмов ультрафиолетом-В — онкологические заболевания. Исследования уже давно доказали, что ультрафиолет-В вызывает у лабораторных животных рак кожи. В большинстве случаев рака кожи у человека он затрагивает именно те участки тела, которые открыты солнечным лучам. Особенно этому подвержены люди с бледной кожей, проводящие много времени на открытом воздухе. Самый высокий в мире уровень заболеваемости раком кожи — в Австралии. Сегодняшняя статистика показывает, что каждый второй австралиец на протяжении жизни столкнется с тем или иным видом этого заболевания. Самая опасная его разновидность, злокачественная мела-

Спектральная плотность потока солнечного излучения ( $\text{Вт/м}^2/\text{мкм}$ )



**Рис. 5.2.** Поглощение излучения в атмосфере

Ультрафиолетовая составляющая излучения Солнца, достигающая планеты, практически полностью поглощается в атмосфере молекулами кислорода и озона. Озон поглощает большую часть ультрафиолета-В, особенно опасного для живых существ.

нома, в Австралии чаще всего встречается в возрастной группе от 15 до 44 лет\*. По оценке ученых, при истощении озонового слоя на 1% количество ультрафиолетового излучения в диапазоне В, достигающего поверхности Земли, увеличится на 2%, что приведет к росту заболеваемости раком кожи на 3–6%\*\*.

Ультрафиолетовое излучение-В представляет для человека двойную опасность. Оно не только увеличивает вероятность рака кожи, но и может подавлять иммунную систему, не давая ей успешно сопротивляться онкологическим и другим заболеваниям — герпесу, различным инфекциям и т. п.

Помимо кожи, опасному воздействию солнечных лучей подвергаются глаза. Ультрафиолет-В может повредить роговицу, вызывая болезненное состояние, известное под названием «снежная слепота», поскольку от нее часто страдают горнолыжники и альпинисты, забирающиеся высоко в горы. Иногда «снежная слепота» переносится очень тяжело, а ее повторение может навсегда ухудшить зрение. Лучи ультрафиолета-В могут также приводить к ожогам сетчатки и вызывать катаракту — помутнение хрусталика глаза.

Если земной поверхности будет достигать больше ультрафиолета-В, то любое животное, имеющее глаза и кожу, открытую солнечным лучам, потенциально будет испытывать те же проблемы, что и человек. Подробные исследования других последствий от воздействия УФ-В только начались, однако некоторые выводы можно сделать уже сегодня.

- Микроорганизмы и одноклеточные подвержены большей опасности, чем более крупные животные, поскольку ультрафиолет-В может проникать только в поверхностные слои клеток.
- Лучи УФ-В проникают в толщу океана всего на несколько метров, однако именно в этом слое обитает большая часть водных микроорганизмов — планктон. Исследования показывают, что планктон (как животный, так и растительный) особенно чувствителен к излучению диапазона УФ-В\*\*\*. Пока еще не сложи-

\* См. данные исследования: *Armstrong B. K., Kricker A. Epidemiology of Sun Exposure and Skin Cancer // Cancer Surveys. 1996. 26. С. 133–153.*

\*\* См., например, материалы: *Jones R. R. Ozone Depletion and Cancer Risk // Lancet. 1987. August 22. С. 443; Skin Cancer in Australia // Medical Journal of Australia. 1989. May 1; Atwood A. The Great Cover-up // Time (Australia). 1989. 27 February; Mintzis M. M. Skin Cancer: The Price for a Depleted Ozone Layer // EPA Journal. December 1986.*

\*\*\* См. статью: *Holm-Hansen O., Heibling E. W., Lubin D. Ultraviolet Radiation in Antarctica: Inhibition of Primary Production // Photochemistry and Photobiology. 1993. 58. № 4. С. 567–570.*

лось единое мнение о том, насколько велико влияние ультрафиолета-В на взаимодействие различных видов в экосистеме. Однако планктон — основное звено в большинстве океанских пищевых цепей, поэтому увеличение такого излучения потенциально может затронуть многие виды жизни в океане.

- Облучение ультрафиолетом-В зеленой растительности приводит к уменьшению высоты растений и площади поверхности листьев, ослабляет фотосинтез. Различные виды зерновых реагируют на облучение УФ-В по-разному, но до 60% изученных злаков демонстрируют уменьшение урожайности. Так, в одном из исследований сделан вывод о том, что истощение озонового слоя на 25% может привести к снижению урожайности сои на 20%<sup>\*</sup>.
- Ультрафиолетовое излучение приводит к старению полимеров и пластиков, использующихся на открытом воздухе, что может приводить к появлению озона в нижних слоях атмосферы, где он участвует в образовании городского смога.

Живые организмы на протяжении эволюции научились защищаться от ультрафиолета разными способами: за счет пигментации, шерстного или чешуйчатого покрова, механизмов восстановления поврежденных молекул ДНК, а также за счет поведенческих привычек, позволяющих чувствительным животным прятаться от палящих солнечных лучей. Такие защитные механизмы имеют разную эффективность, поэтому при истощении озонового слоя можно ожидать, что некоторые популяции уменьшатся, некоторые увеличатся, а некоторые виды, возможно, совсем исчезнут. Может нарушиться баланс между численностью травоядных и запасами корма для них, между количеством сельскохозяйственных вредителей и их природных врагов, между численностью паразитов и их хозяев. Истощение озонового слоя повлияет на каждую экосистему, но каким образом — предсказать невозможно, особенно на фоне других событий, например, глобального потепления.

## Первые сигналы

В 1974 г. независимо друг от друга были опубликованы две научные статьи — обе предупреждали об опасности, угрожающей озоновому слою. В одной говорилось, что атомы хлора в стратосфере могут при-

<sup>\*</sup> По данным работы: *Teramura A. H., Sullivan J. H. How Increased Solar Ultraviolet-B Radiation May Impact Agricultural Productivity // Coping with Climate Change. Washington, DC: Climate Institute, 1989. С. 203.*

водить к массовому разрушению молекул озона<sup>\*</sup>. В другой сообщалось, что ХФУ достигают стратосферы и в ней распадаются, высвобождая атомы хлора<sup>\*\*</sup>. Вместе эти публикации означали, что использование человечеством ХФУ может привести к очень тяжелым последствиям.

Поскольку ХФУ инертны и нерастворимы, они не вступают в реакцию с другими газами и не поглощаются дождевой водой. Солнечное излучение, достигающее нижних слоев атмосферы, имеет длины волн, которые не приводят к расщеплению связей углерод-хлор или углерод-фтор. Практически единственная возможность для молекулы ХФУ «исчезнуть» из атмосферы заключается в том, чтобы добраться до верхних слоев атмосферы и встретиться там с коротковолновым ультрафиолетовым излучением — тем самым излучением, которое никогда не достигает поверхности Земли, поскольку его отфильтровывают озон и кислород. Такое излучение расщепляет молекулу ХФУ, высвобождая радикалы хлора.

Вот здесь-то и начинаются проблемы. Радикал хлора (Cl) может вступить в реакцию с молекулой озона, образуя кислород и моноксид хлора (ClO). Затем молекула ClO реагирует с атомарным кислородом (O), образуя молекулярный кислород O<sub>2</sub> и снова высвобождая радикал хлора. Этот радикал сможет превратить в кислород еще одну молекулу озона, затем высвободится опять и т. д. (рис. 5.3).

Радикал хлора может проходить через цикл реакций снова и снова, каждый раз разрушая по молекуле озона. В среднем один атом хлора вызывает распад порядка 100 000 молекул озона, прежде чем цепочка прервется, когда радикал хлора прореагирует с метаном, двуокисью азота или чем-либо подобным, чтобы в связанном виде вернуться к поверхности Земли.

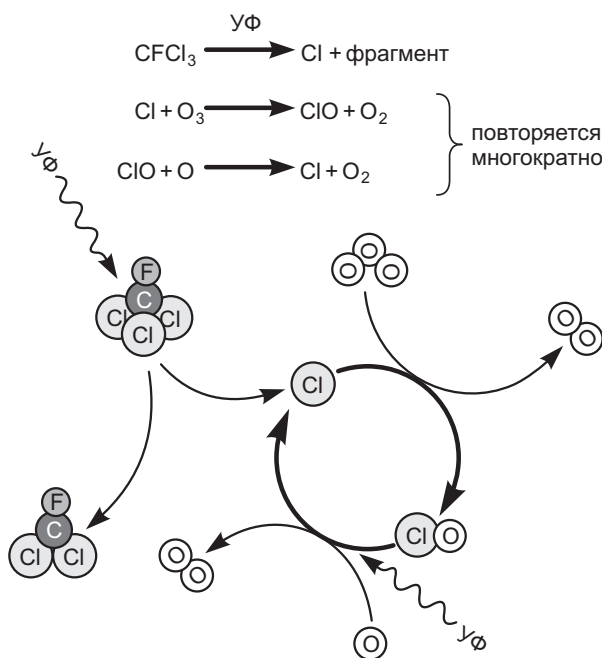
## Запаздывания

Чтобы система вышла за пределы, в ней должны быть запаздывания, а в озоновой системе их очень много. Постоянное высвобождение атомарного хлора означает, что пройдет много лет, прежде чем однажды попавший в стратосферу атом хлора будет окончательно связан и перестанет разрушать озон. Еще одна задержка — период

\* См. статью: *StolarSKI R. S., Cicerone R. J.* Stratospheric Chlorine: A Possible Sink for Ozone // *Canadian Journal of Chemistry*. 1974. 52. С. 1610.

\*\* См. статью: *Molina M. J., Rowland F. S.* Stratospheric Sink for Chlorofluoromethanes: Chlorine Atomic Catalyzed Destruction of Ozone // *Nature*. 1974. 249. С. 810. За это исследование Молина и Роуланд были награждены Нобелевской премией в области химии в 1995 г.





**Рис. 5.3.** Как ХФУ разрушают стратосферный озон

Молекулы ХФУ в верхних слоях атмосферы расщепляются под воздействием ультрафиолета, высвобождая свободные атомы хлора (Cl). Эти атомы вступают в реакцию с озоном ( $\text{O}_3$ ), образуя моноксид хлора (ClO). Затем молекула ClO реагирует с атомарным кислородом, высвобождая атом хлора, который может снова вступить в реакцию с другой молекулой озона, и т. д. Цикл реакций повторяется снова и снова, существенно уменьшая концентрацию озона в атмосфере.

между созданием молекулы ХФУ на промышленном предприятии и ее попаданием в стратосферу. При определенных видах использования (например, в качестве пропеллента в аэрозольном баллончике) ХФУ достаточно быстро окажется в воздушной среде. При других — например, при использовании в холодильных установках или при производстве вспененных изолирующих материалов — ХФУ попадет в воздух через многие годы. После того как молекула попала в атмосферу, у нее уйдет несколько десятилетий на то, чтобы добраться до верхних слоев стратосферы. Таким образом, истощение озонового слоя сегодня — это следствие выпуска ХФУ многие годы или даже десятилетия назад.

На получение новых знаний и выработку единого научного мнения по проблеме тоже уходят годы, хотя в данном конкретном случае запаздывание уменьшилось за счет нескольких политических факторов, позволивших ускорить развитие событий.



Две статьи, предсказавшие истощение озонового слоя, вызвали настоящий бум в исследованиях по химии атмосферного хлора. В США научная информация моментально проникла в политическую сферу. Частично так произошло потому, что авторы одной из статей были американцами. Их серьезно беспокоила судьба открытия, к тому же они обладали достаточной напористостью для того, чтобы привлечь к нему внимание общественности (особенно Ф. Шервуд Роуланд, который довел информацию до сведения Национальной академии наук и Конгресса США). Другим фактором, сыгравшим важную роль в США, было хорошо организованное движение в защиту окружающей среды.

Когда американские экологи осознали связь между озоном и ХФУ и возможные последствия, они приступили к действию. Прежде всего они открыто осудили использование ХФУ в аэрозольных баллончиках. Это безумие, говорили они, угрожать жизни на Земле только ради того, чтобы опрыскать себя дезодорантом или использовать готовую пену для бритья. Строго говоря, выбор аэрозольного баллончика в качестве основной мишени был чрезмерным упрощением и в какой-то степени популизмом, ведь уже производились аэрозольные баллончики на основе других наполнителей, не содержащих ХФУ, к тому же у ХФУ было много других областей использования. Однако это позволило донести информацию до широкого потребителя. Аэрозольные баллончики заклеили как разрушители озона, и потребители откликнулись на призыв: продажи такой продукции упали более чем на 60%. Результаты этого можно увидеть на рис. 5.1 — в 1975 г. рост производства ХФУ временно остановился. Политическое давление позволило принять закон, который запретил использовать ХФУ в аэрозолях.

Промышленность, конечно, пыталась сопротивляться. Представитель компании *DuPont* в 1974 г. выступил перед Конгрессом и заявил буквально следующее: «В настоящее время гипотеза о связи хлора с истощением озонового слоя — чистой воды спекуляция, ей нет никаких подтверждений». Однако при этом он добавил: «Если достоверные научные данные... покажут, что хлорфторуглероды нельзя использовать без вреда для здоровья, компания *DuPont* остановит их производство»\*. Не прошло и четырнадцати лет, как компания *DuPont*, крупнейший производитель ХФУ в мире, сдержала свое обещание.

Закон, запрещающий использование ХФУ в качестве пропеллента в аэрозольных баллончиках, был принят в 1978 г. Вместе с дви-

\*

Цитируется по источнику: *Benedick R. E. Ozone Diplomacy*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1991. С. 12.

жением потребителей, которое к тому моменту уже вызвало снижение продаж аэрозолей, это привело к существенному сокращению производства ХФУ в мире. Тем не менее во многих странах мира аэрозоли до сих пор могут содержать ХФУ. Кроме того, их продолжают применять для других целей, в особенности в электронной промышленности, и здесь использование ХФУ по-прежнему расширяется. В 1980 г. использование ХФУ в мире вернулось к уровню 1975 г. и снова стало расти (см. рис. 5.1).

## Выход за пределы: озоновая дыра

В октябре 1984 г. ученые Британской антарктической экспедиции во время исследования, проводимого на станции Халли-Бей, зафиксировали уменьшение концентрации озона в стратосфере на 40%. Измерения за предшествующие 10 лет показывали, что год от года концентрация озона в октябре снижается (рис. 5.4). Ученые отказывались верить своим глазам — снижение концентрации на 40% казалось им просто невыносимым. Компьютерные модели, основанные на тогдашних знаниях в области атмосферной химии, допускали уменьшение концентрации всего на несколько процентов, не больше.



**Рис. 5.4.** Измерение концентрации озона, станция Халли, Антарктида

Концентрация озона в атмосфере над станцией Халли, Антарктида, измеренная в октябре (при возвращении Солнца — это весна в Южном полушарии), уменьшалась на протяжении десяти лет, предшествующих появлению публикации об озоновой дыре в 1985 г. С того момента концентрация озона в октябре стала еще меньше. (Источник: J. D. Shanklin.)

Исследователи перепроверили все свое оборудование. Затем стали искать материалы измерений, проведенных другими учеными, в надежде найти подтверждение. В конце концов они нашли его: результаты измерений, проведенных станцией в 1600 км к северо-западу, тоже показывали небывалое уменьшение концентрации стратосферного озона.

В мае 1985 г. была опубликована историческая статья, сообщившая миру о появлении в Южном полушарии «озоновой дыры»\*. Эта новость ошарашила ученых всего земного шара. Если это было правдой, то следовал прямой вывод: человечество уже превысило глобальный предел. Использование ХФУ вышло за пределы устойчивости. Люди фактически разрушали собственный озоновый щит.

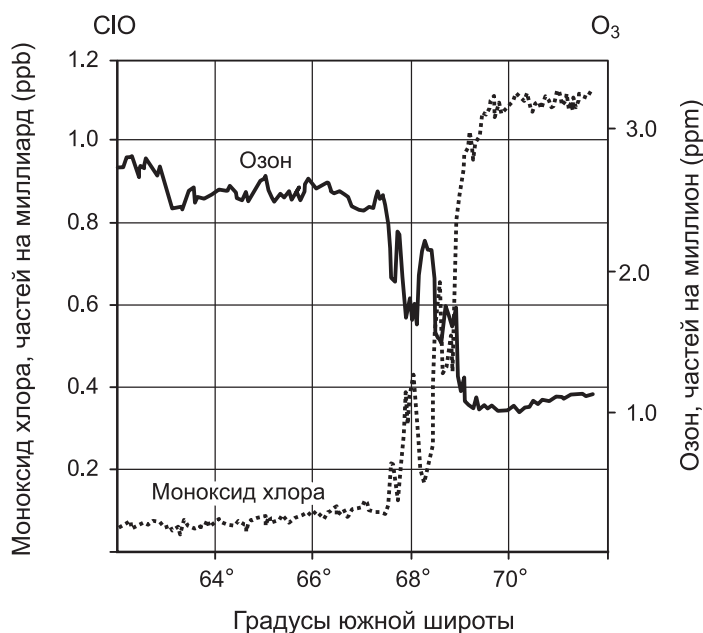
В США ученые НАСА подняли все данные по атмосферному озону, которые спутник Нимбус-7 непрерывно собирал с 1978 г. Но Нимбус-7 никогда не сообщал о появлении озоновой дыры! Перепроверив все данные, специалисты НАСА обнаружили, что их компьютеры *были запрограммированы на отсеивание слишком низких значений* концентрации озона, поскольку предполагалось, что такие цифры могут быть только результатом ошибки измерения\*\*.

К счастью, отсеянные значения не были уничтожены, их удалось найти. Они подтвердили наблюдения станции Халли-Бей и показали, что концентрация озона действительно уменьшалась на Южном полюсе в течение десятилетий. Более того, эти данные позволили составить подробную карту озоновой дыры. Она оказалась огромной, величиной с континентальную часть США, причем с каждым годом становилась все больше, а концентрации озона в ней — все ниже.

Откуда же взялась дыра? Почему именно над Антарктидой? Что означает это открытие с точки зрения защиты всей планеты от ультрафиолетового излучения в диапазоне В? В последовавшие за открытием несколько лет ученые проделали огромный объем работы, чтобы ответить на эти вопросы. Самое важное доказательство вины хлора было получено в сентябре 1987 г., когда ученые направили из Южной Америки к Южному полюсу самолет прямо через озоновую дыру. Результаты измерения концентрации озона и ClO по всему маршруту показаны на рис. 5.5. Подъемы и провалы в концентрации озона практически полностью соответствуют провалам

\* См. статью: *Farman J. C., Gardiner B. G., Shanklin J. D.* Large Losses of Total Ozone in Antarctica Reveal Seasonal ClO/NO<sub>2</sub> Interaction // *Nature*. 1985. 315. С. 207.

\*\* Период, в течение которого оборудование замеряло необычайно низкое содержание озона, но результаты отсеивались программно и не были доступны ученым, описан в работе: *Brodeur P.* *Annals of Chemistry*. С. 71.



**Рис. 5.5.** Рост концентрации активного хлора и уменьшение концентрации озона в Антарктиде

Приборы на борту исследовательского самолета НАСА ER-2 одновременно измеряли концентрации монооксида хлора и озона по маршруту следования из Пунта-Аренас, Чили (53° ю. ш.) до 72° ю. ш. Показанные на графике данные собраны 16 сентября 1987 г. Когда самолет вошел в озоновую дыру, концентрация монооксида хлора превысила обычные значения во много раз, а концентрация озона резко упала. Это открытие позволило однозначно установить, что хлорсодержащие загрязнители вызывают разрушение озона. (Источник: J. G. Anderson et al.)

и подъемам в концентрации  $\text{ClO}^*$ . Более того, измеренные концентрации монооксида хлора в дыре в сотни раз выше, чем это можно объяснить обычными явлениями атмосферной химии. Этот график — явная улика, доказавшая вину ХФУ даже промышленным производителям. Озоновая дыра — не нормальное явление, а свидетельство того, что атмосфера сильно пострадала от выбросов хлорсодержащих загрязнителей.

Ученым понадобилось несколько лет, чтобы объяснить появление дыры. Вкратце процесс можно описать так.

\* См. данные: Anderson J. G., Brune W. H., Proffitt M. J. Ozone Destruction by Chlorine Radicals within the Antarctic Vortex: The Spatial and Temporal Evolution of  $\text{ClO}$ - $\text{O}_3$  Anticorrelation Based on in Situ ER-2 Data // Journal of Geophysical Research. 1989. 94. August 30. С. 11, 474.

Поскольку Антарктида вся окружена океаном, ветры могут непрерывно циркулировать вокруг континента — им не препятствует суша. Во время южной зимы они образуют *околополюсный (циркumpолярный) вихрь*, воронку из ветров, которая собирает воздух над Антарктидой и не дает ему смешиваться с окружающей атмосферой. Этот вихрь создает «реакционный котел», в котором «варятся» полярные атмосферные химические соединения. (На Северном полюсе воронка не такая сильная, поэтому северная озоновая дыра гораздо меньше.)

Зимой антарктическая стратосфера — самое холодное место на Земле; температура падает до  $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В условиях такого экстремального холода водяные пары становятся туманом из мельчайших кристалликов льда и висят в воздухе, предоставляя поверхность для ускорения химических реакций, словно катализатор. В результате этих реакций молекулы ХФУ расщепляются и высвобождают хлор, разрушающий озон.

Атомы хлора, высвободившиеся за долгую полярную ночь, вступают в реакцию по разрушению озона не сразу. Сначала каждый атом хлора реагирует только с одной молекулой озона, образуя моноксид хлора ( $\text{ClO}$ ). Две молекулы  $\text{ClO}$  образуют относительно стабильный димер  $\text{ClOOCl}$ . Молекулы димеров накапливаются, дожидаясь возвращения Солнца\*.

Каждый сентябрь-октябрь, при наступлении антарктической весны, лучи Солнца разбивают димеры  $\text{ClOOCl}$ , и в атмосферу разом поступает огромное количество радикалов хлора, которые вступают в реакцию с озоном. Концентрация  $\text{O}_3$  резко падает.

Вернувшееся Солнце постепенно рассеивает околополюсный вихрь, снова позволяя полярным воздушным массам свободно перемешиваться. Воздух с пониженным содержанием озона рассеивается по всему земному шару, и уровни озона над Антарктидой приближаются к обычным.

Дыры меньшего размера наблюдались и над Северным полюсом — это происходит во время арктической весны. Вряд ли стоит ожидать, что отдельные озоновые дыры появятся в каких-то других местах земного шара. Но поскольку газы в атмосфере смешиваются, концентрация озона уменьшается не только на полюсах, но и по всей планете. А поскольку молекулы ХФУ и хлора в атмосфере живут долго, истощение тоже будет наблюдаться многие годы — как минимум одно столетие. Раз человечество превысило предел (определяемый как максимальное количество выбросов ХФУ, не вызыва-

\*

См. работу: *Molina M. J. The Antarctic Ozone Hole // Oceanus. 1988. 31, Summer.*

ющее неустойчивости), значит, оно обрекло себя на долгий период существования в условиях пониженной концентрации озона и меньшей защиты от ультрафиолета-В. И так было бы даже в том случае, если бы производство ХФУ прекратилось немедленно. Этот выход за пределы произошел и будет оставаться частью нашей реальности еще очень долго.

## Следующий отклик: запаздывания на практике

Среди тех, кто был вовлечен в мировые переговоры по озоновой проблеме, есть определенные разногласия насчет того, стало ли появление сообщения об озоновой дыре в 1985 г. для политиков таким же побудительным фактором, что и для ученых. Международные переговоры об ограничении производства ХФУ шли полным ходом, но серьезного результата не давали. На встрече в Вене, проходившей за два месяца до широкого объявления об озоновой дыре, было выработано беспечное заключение о том, что странам следует принять «соответствующие меры» для защиты озонового слоя, но в этом документе не были предусмотрены ни временные рамки, ни санкции за неисполнение. Промышленные производители прекратили поиски заменителей для ХФУ, поскольку все шло к тому, что в обозримом будущем они востребованы не будут\*. Антарктическую озоновую дыру однозначно свяжут с ХФУ только спустя три года.

Что-то должно было произойти в политической сфере между мартовской встречей в Вене, которая не привела ни к каким реальным результатам, и сентябрьской встречей в 1987 г. в Монреале, где был создан первый международный протокол по озоновому слою и где его подписали 47 представителей разных стран. Дыра над Антарктидой определенно имела какой-то психологический эффект, и воздействие усиливалось тем, что никто не мог объяснить, откуда она взялась. Было ясно только одно: с озоновым слоем явно происходит что-то не то. И хотя окончательные подробности в тот момент доказаны не были, тем не менее, многие ученые указывали на ХФУ как на самых вероятных виновников.

Есть доказательства или нет — вероятно, все равно никто бы ничего не предпринял, если бы не Программа ООН по окружающей среде (United Nations Environment Program, UNEP), которая была частью международных политических процессов и подталкивала их. Сотрудники UNEP собрали научные данные, сделали из них пра-

---

\* Компания *DuPont* немедленно прекратила исследования по поиску заменителей для ХФУ после избрания президентом Рональда Рейгана в 1980 г.

вильные выводы и представили их правительствам, создав почву для обсуждения проблемы на самом высоком уровне. Можно сказать, что они выступили посредниками. Директор UNEP Мустафа Толба показал себя искусным дипломатом в вопросах защиты окружающей среды; он сохранял нейтралитет в мелких препирательствах и терпеливо напоминал всем участникам переговоров, что никакие краткосрочные эгоистические соображения не могут сравниться по важности с поддержанием целостности озонового слоя планеты.

Переговоры проходили очень тяжело\*. Мировые правительства столкнулись с глобальной экологической проблемой, которая не была изучена до конца и в тот момент еще не нанесла видимого ущерба здоровью людей или экономике. Страны, являющиеся основными производителями ХФУ, естественно, пытались заблокировать любые предложения о снижении использования ХФУ. Судьба важных решений порой висела на тонком политическом волоске. США, например, играли роль сильного лидера, но несколько раз оказывались в сложном положении из-за глубоких разногласий внутри администрации Рейгана. Эти разногласия были вынесены на публику, когда министр внутренних дел Дональд Ходел прилюдно заявил, что озоновый слой не будет проблемой, если люди, выходя на улицу, будут просто надевать широкополые шляпы и солнцезащитные очки! Это заявление вызвало насмешки по всему миру (даже в мультфильмах появились наряженные в шляпы и солнцезащитные очки коровы, собаки, деревья и кукурузные початки), что сыграло на руку тем членам администрации США, которые пытались донести до президента всю серьезность озоновой проблемы.

Между тем программа UNEP набирала силу. Экологические движения в Европе и США оказывали давление на свои правительства, ученые проводили обучающие семинары для журналистов, парламентариев и широкой общественности. Вынуждаемые давлением со всех сторон, национальные правительства в конце концов (как ни странно, довольно быстро — в 1987 г.) подписали в Монреале «Протокол о веществах, разрушающих озоновый слой».

В Монреальском протоколе было оговорено, что мировое производство пяти самых широко применяемых ХФУ должно быть заморожено на уровне 1986 г. Затем в 1993 г. производство должно быть снижено на 20%, а к 1998 г. — еще на 30%. Соглашение «замора-

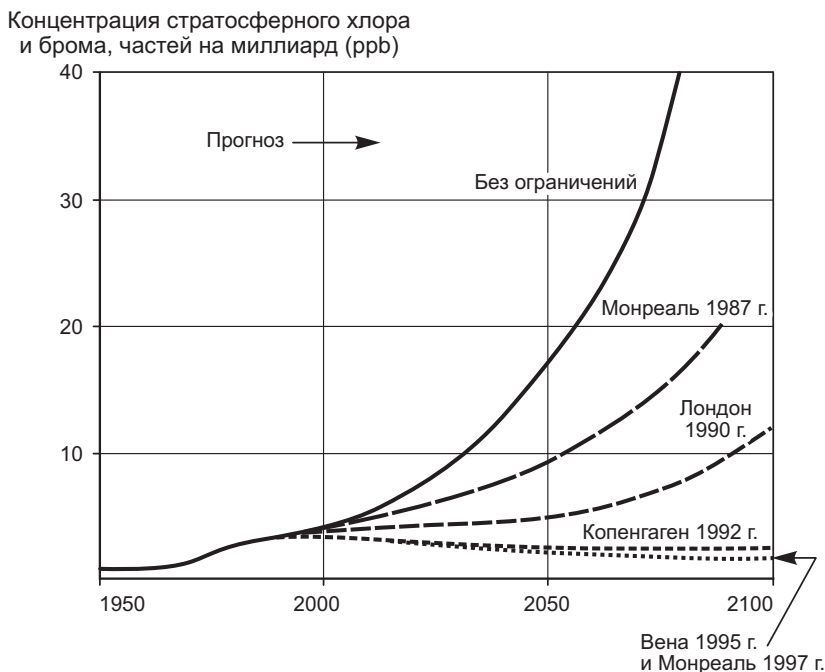
---

\* Политический процесс правдиво и полно описал Ричард Бенедик, который был главным переговорщиком от США: *Benedick R. E. Ozone Diplomacy: New Directions in Safeguarding the Planet*. 2nd ed. Cambridge, MA, and London: Harvard University Press, 1998.



живание-20–30% » было подписано всеми основными производителями ХФУ.

Монреальский протокол имел историческое значение; в тот момент он позволил политически продвинуться гораздо дальше, чем могли надеяться защитники окружающей среды. Однако вскоре стало ясно, что предлагаемые в нем ограничения производства ХФУ совершенно недостаточны. На рис. 5.6 показано, что произойдет с



**Рис. 5.6.** Предполагаемое увеличение концентраций в стратосфере неорганических соединений хлора и брома в результате выбросов ХФУ

Зафиксированные и прогнозируемые концентрации хлора и брома в стратосфере при различных условиях: без протокола; в соответствии с первым Монреальским протоколом; в соответствии с более поздними соглашениями. Сохранение производства ХФУ на уровне 1986 г. приведет к дальнейшему росту концентрации стратосферного хлора вплоть до восьмикратного увеличения к 2050 г. Первый Монреальский протокол требовал ограничить объемы выбросов, но их все еще было достаточно для того, чтобы концентрация хлора росла экспоненциально. Лондонское соглашение определяло свертывание использования большинства видов ХФУ (но не всех), оно по-прежнему позволяло концентрации хлора расти примерно до 2050 г. Последовательные соглашения постепенно снижали допустимые уровни использования соединений, приводящих к высвобождению активного хлора, добиваясь, чтобы прогнозируемые концентрации стратосферного хлора уменьшались, начиная уже с 2000 г. (Источники: WMO; ЕРА; R.E. Bendick.)



концентрацией стратосферного хлора, ответственного за разрушение озона, если выбросы сократятся в соответствии с Монреальским протоколом (а также другими соглашениями, принятыми позже в Лондоне, Копенгагене, Вене и снова Монреале — мы об этом еще расскажем). Даже при снижении производства остаются большие запасы ранее синтезированных, но еще не использованных ХФУ, и надо учесть уже использованные количества ХФУ, которые еще не достигли стратосферы. В результате концентрация хлора будет продолжать расти еще много лет.

Причины, по которым соглашение оказалось слабым, были понятны. Многие развивающиеся страны не стали подписывать протокол. Китай, например, собирался оборудовать миллионы квартир первыми холодильниками собственного производства, а это предусматривало широкое использование фреонов. Советский Союз занимался отговорками, заявляя, что пятилетнее планирование не позволяет внести быстрые изменения в программу производства ХФУ, и настаивал на более медленном сокращении. Многие промышленные производители хлорфторуглеродов продолжали надеяться, что им удастся отстоять хотя бы часть своего рынка.

В течение года после подписания Монреальского протокола было зафиксировано еще большее истощение озонового слоя, и примерно в это же время были опубликованы материалы, однозначно подтверждающие вину ХФУ. В этот момент компания *DuPont* объявила, что начнет сворачивать свое производство хлорфторуглеродов вплоть до полного прекращения. В 1989 г. США и Евросоюз объявили, что к 2000 г. полностью прекратят производство пяти основных ХФУ. Они призвали все страны мира добиться запрета на производство ХФУ, который был предусмотрен Монреальским соглашением: в нем было указано, что периодически должна проводиться переоценка состояния озонового слоя и что при необходимости должны быть приняты более жесткие меры.

После еще одной серии переговоров, опять инициированных UNEP, в 1990 г. правительства 92 стран встретились в Лондоне и согласились к 2000 г. прекратить производство всех видов ХФУ. К списку запрещенных веществ добавился метилхлороформ, четыреххлористый углерод и хлорбромуглероды (ХБУ), которые тоже разрушают озон. Несколько развивающихся стран отказывались ставить свои подписи до тех пор, пока не будет создан международный фонд, который финансово поддержит их переход на заменители ХФУ. США отказались вносить средства со своей стороны, и соглашение оказалось под угрозой, однако затем фонд все-таки удалось создать. Ожидаемое изменение концентрации стратосферного хлора (а также стра-

тосферного брома, который тоже приводит к разрушению озона) в соответствии с Лондонским соглашением показано на рис. 5.6.

Весной 1991 г. спутниковые измерения показали, что в Северном полушарии тоже происходит истощение озонового слоя, причем темпы оказались вдвое выше, чем ожидалось. Впервые было зафиксировано летнее уменьшение концентрации озона над населенными зонами Северной Америки, Европы и Центральной Азии, а это означало, что последствия чрезмерного облучения ультрафиолетом могут сказаться и на людях, и на посевах. В конце 1990-х гг. уменьшение концентрации озона было зафиксировано даже в южных широтах — в Испании.

После таких тревожных новостей многие страны, прежде всего Германия, изъявили готовность прекратить производство ХФУ и ХБУ даже раньше, чем это было предусмотрено Лондонским соглашением. Многие международные корпорации, особенно те, чья сфера деятельности — электроника и автомобилестроение, сделали то же самое. Некоторые развивающиеся страны (например, Мексика) заявили, что не будут пользоваться положенным им 10-летним переходным периодом, а присоединятся к такому же строгому графику, что и промышленно развитые страны. Постепенно и другие страны, даже Китай и Индия, последовали этому примеру, так что все мировое производство ХФУ должно полностью прекратиться к 2010 г.

Во время еще одного раунда переговоров, прошедшего в Копенгагене в 1992 г., страны, подписавшие Монреальский протокол, согласились еще строже ограничить производство ХФУ, полностью исключив новое производство ХБУ к 1994 г. и всех ХФУ к 1996 г., а также запретив распыление почвенного инсектицида метилброма — мощного разрушителя озона, который на Лондонской встрече даже не обсуждался. Существовавшие в то время атмосферные модели позволяли надеяться, что Копенгагенское дополнительное ограничение позволит вернуть озоновый слой к уровню 1980 г. на 10 лет раньше, чем предполагалось по Лондонским расчетам: не в 2055 г., а к 2045 г. Это должно снизить совокупные потери озона на 28% и предотвратить 4,5 млн случаев заболевания раком кожи и 350 000 случаев наступления слепоты\*. Позже выяснилось, что без Копенгагенского ограничения вообще не удалось бы добиться никакого уменьшения концентрации хлора/брома (см. рис. 5.6).

К 1996 г. участниками дополнительно усиленного соглашения стали уже 157 стран. Больше, пожалуй, добиться уже ничего нельзя. В Монреале в 1997 г., в десятую годовщину принятия первого прото-

\* *Benedick R. E. Ozone Diplomacy: New Directions in Safeguarding the Planet. 2nd ed. Cambridge, MA, and London: Harvard University Press, 1998. C. 215.*

кола, к соглашению были сделаны небольшие дополнения. Научная оценка состояния озонового слоя, проведенная в 1998 г. под эгидой Всемирной метеорологической организации и программы UNEP\*, показала, что «основываясь на прошлых выбросах озоноразрушающих веществ и прогнозируемых в будущем максимальных концентрациях согласно Монреальскому протоколу, можно заключить, что максимальное истощение озонового слоя придется на ближайшие одно или два десятилетия». Четыре года спустя, в 2002 г., комиссия, проводившая оценку, заявила: «Концентрация озона в Антарктиде к 2010 г. начнет увеличиваться. Восстановление уровня 1980 г. ожидается к середине текущего столетия»\*\*. На период максимального истощения озона (1995–2010 гг.) как-либо повлиять уже нельзя, поскольку ответственные за это истощение химические соединения к тому времени уже были выпущены в атмосферу и постепенно дрейфовали в ее верхние слои. Сейчас регулярно проводится Конференция стран — участниц Монреальского соглашения, на ней соглашение уточняют и дополняют. Так, в 1999 г. в Пекине участники соглашения договорились увеличить международный фонд, чтобы оказать финансовую поддержку развивающимся странам и помочь им не отставать от намеченного графика. Сейчас к списку запрещенных добавились и другие вещества, и больше нельзя заменять одни озоноразрушающие соединения другими, как это бывало в прошлом.

К 2000 г. производство всех ХФУ уменьшилось. Максимальный объем производства, достигнутый в 1988 г., превышал 1 млн т, а сейчас он составляет менее 100 000 т в год (см. рис. 5.1)\*\*\*. При свертывании производства этих химических соединений промышленности удалось обойтись значительно меньшими расходами и потерями, чем кто-либо мог предполагать в ходе международных переговоров. (Суммарные расходы, учитывая стоимость проведения самих переговоров и контроль за исполнением соглашений, со-

\* См. материалы доклада: United Nations Environment Program, «Synthesis of the Reports of the Scientific Assessment Panel and Technology and Economic Assessment Panel on the Impact of HCFC and Methyl Bromide Emissions», Nairobi, March 1995, section 4.

\*\* См. данные оценки: World Meteorological Organization, «Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002», *Global Ozone Research and Monitoring Project Report*, 47. С этими материалами можно ознакомиться на сайте [www.unep.org/ozone](http://www.unep.org/ozone).

\*\*\* К тому времени подразделение UNEP, ответственное за сбор информации, прекратило публикацию регулярных отчетов, поскольку год от года точность информации менялась. См. материалы: «Production and Consumption of Ozone Depleting Substances under the Montreal Protocol 1989–2000». Nairobi: UNEP, 2002. Данные доступны на сайте [www.unep.ch/ozone/](http://www.unep.ch/ozone/). Статистика по производству приводится в таблицах 1 и 2, 18 и далее.

ставляют порядка 40 млрд долларов\*.) Поскольку ХФУ одновременно являются еще и парниковыми газами, чье влияние на глобальное потепление в несколько тысяч раз сильнее, чем у молекулы двуокиси углерода, запрет на их производство помогает одновременно уменьшить и скорость глобального изменения климата. Менее вредные соединения-заменители, гидрированные ХФУ, все еще производятся, и объемы составляют около полумиллиона тонн в год (см. рис. 5.1).

Все это время информация о состоянии стратосферы продолжает поступать, пусть даже небольшими порциями. В 1995–1996 гг. концентрация озона над Северным полюсом достигла нового исторического минимума. Однажды было зафиксировано падение концентрации  $O_3$  над Сибирью на 45%. В средних широтах Северного полушария зимой и весной 1998 г. среднее уменьшение концентрации озона составляло от 6 до 7%. В том же 1998 г. озоновая дыра на Южном полюсе была больше и глубже, чем когда-либо ранее\*\*, но затем и в 2000 г., и в 2003 г. эти значения были перекрыты еще более экстремальными цифрами. И хотя увеличение озоновой дыры уже существенно замедлилось, в 2002 г. комиссия по научной оценке состояния озона при Всемирной метеорологической организации все еще не могла «заявить, что область (антарктической) озоновой дыры достигла максимума». Она лишь повторила заявление о том, что «озоновый слой будет постепенно восстанавливаться в течение ближайших 50 лет»\*\*\*.

В первые два десятилетия XXI в. озоновый слой будет наиболее уязвим. Если Монреальский протокол и все последующие соглашения будут соблюдаться, если будет остановлено нелегальное производство и если не произойдет значительных вулканических извержений (которые тоже вносят свой вклад в истощение стратосферного озона, хотя и в кратковременном масштабе), то озоновый слой практически вернется к своему исходному состоянию к 2050 г.

В этой счастливой истории есть одна ложка дегтя: контрабанда ХФУ. Хотя правительства США и Европы запретили и производство, и импорт производимых сейчас ХФУ, многие граждане этих стран готовы платить большие деньги, чтобы зарядить фреонами кондиционеры в своих машинах и домах. В США на новые ХФУ налагаются высокие акцизные сборы, чтобы таким образом поощрить

\* По данным статьи: *Vogelsberg F. A. An Industry Perspective: Lessons Learned and the Cost of the CFC Phaseout*. Статья была представлена на конференции: International Conference on Ozone Protection Technologies, Washington, DC, October 1996.

\*\* См. статью: *Kerr R. A. Deep Chill Triggers Record Ozone Hole* // *Science*. 1998. 282, October 16. С. 391.

\*\*\* См. материалы: WMO, «Scientific Assessment». С. xiv и xv.

повторную переработку, и из-за этого цена растет еще больше. Страны, которым по соглашению разрешено производить ХФУ до 2010 г. (в первую очередь это Россия, Китай и Индия), не могут устоять перед столь привлекательными рыночными возможностями. Контрабандисты используют самые разные ухищрения — например, маркируют новые ХФУ наклейками, на которых написано, что это переработанные ХФУ. Судебный департамент США сообщает, что прибыль от нелегального импорта ХФУ превышает прибыль от поставок кокаина. Точные цифры по огромному рынку контрабанды ХФУ получить невозможно, оценки варьируются от 20 000 до 30 000 т в год\*, но эти значения не так велики лишь потому, что суммарное производство ХФУ в мире постепенно снижается.

Несмотря на эти и некоторые другие аспекты, мир практически пришел к единому мнению по поводу озоновой проблемы и достиг огромных успехов, принимая конкретные меры. Это заняло больше 25 лет, но зато показало, что на выход за пределы вполне можно отреагировать правильно.

## Обойдемся без хлорфторуглеродов

Пока шли дипломатические переговоры, промышленники придумывали способы уменьшить выбросы в окружающую среду ранее произведенных ХФУ и разрабатывали соединения-заменители. Проблему можно решить на треть уже только за счет повышения эффективности процессов — это сразу же снижает потребность в хлорфторуглеродах. Например, в холодильных установках можно улучшить изоляцию, и тогда потребуется меньше хладагентов. Переработка и повторное использование этих соединений тоже позволяют снизить выбросы в окружающую среду. Еще треть проблемы решается за счет применения соединений-заменителей, например, гидрированных ХФУ (ГХФУ), разрушающая способность которых гораздо слабее — от 2 до 10%. Их применение планируется запретить к 2030 г., а до того момента есть время, чтобы найти более безопасные заменители. Последнюю треть проблемы можно решить за счет перехода на технологии, которые вообще не опасны для озонового слоя.

После запрета на использование ХФУ в качестве пропеллентов для аэрозолей в 1978 г. производители такой продукции перешли на другие соединения. Большая часть из них добавок оказалась де-

\*

См. отчет: World Resources Institute. *World Resources 1998–99*. New York: Oxford University Press, 1998. С. 178. Также см. статью: *Beardsley T. Hot Coolants* // *Scientific American*. July 1998. С. 32.

шевле ХФУ. Вот как прокомментировал это специалист в области атмосферной химии Марио Дж. Молина: «В 1978, когда в США запретили использовать ХФУ в качестве пропеллентов в аэрозольных баллончиках, эксперты говорили, что множество людей останется без работы. На самом деле этого не произошло»<sup>\*</sup>.

Хладагенты в холодильных установках и кондиционерах раньше просто выпускали в воздух, когда агрегаты ремонтировали или выбрасывали. Теперь же используют специальные устройства, которые собирают и очищают хладагенты, чтобы их можно было использовать повторно. В США такой подход (а также меры по устранению утечек) поощряются системой налогообложения — она делает повторное использование экономически выгодным. При этом важно не допустить смешивания новых, безопасных соединений-заменителей, со старыми веществами, разрушающими озон.

Компании по производству электронного оборудования, а также предприятия авиастроительной промышленности теперь применяют другие растворители для промывки печатных плат и деталей самолетов, причем некоторые представляют собой простые водные растворы. Некоторые производственные процессы были модернизированы, чтобы этапы промывки вообще были не нужны, и это позволило существенно уменьшить затраты. Компании в США и Японии образовали коалицию, чтобы распределить по всем мировым предприятиям электронной промышленности расходы на исследования по модернизации процессов<sup>\*\*</sup>.

Химические компании развернули маркетинговые программы, рекламирующие гидрированные ХФУ и другие соединения в качестве заменителей ХФУ. Автомобильные кондиционеры теперь заряжают заменителем ХФУ, гидрофторуглеродом (ГФУ), который называется HFC-134a. Дополнительная стоимость таких хладагентов вовсе не 1000–1500 долларов в расчете на каждый автомобиль, как это предполагалось вначале, а всего 50–150 долларов.

Используемые в качестве изоляции вспененные материалы теперь вспенивают другими газами; гамбургеры заворачивают в бумагу или укладывают в картонную упаковку, а не пластик с ХФУ; потребители, заботящиеся о состоянии окружающей среды, пользуются

<sup>\*</sup> Цитируется по докладу: *Molina M. J. Stratospheric Ozone: Current Concerns*. Этот доклад был представлен на симпозиуме по химии окружающей среды: *Symposium on Global Environmental Chemistry — Challenges and Initiatives*, 198th National Meeting of the American Chemical Society, September 10–15, 1989, Miami Beach, Florida.

<sup>\*\*</sup> Адрес штаб-квартиры коалиции: *The Industrial Coalition for Ozone Layer Protection*, 1440 New York Avenue NW, Suite 300, Washington, DC 20005.



многоразовыми стеклянными или керамическими чашками вместо одноразовых пластиковых стаканчиков.

Производители срезанных цветов в Колумбии обнаружили, что можно применять смешанные методы борьбы с вредителями, а не стерилизовать почву метилбромидом. Фермеры в Кении для окулировки семян в хранилищах вместо метилбромида стали использовать углекислый газ. На плантациях табака в Зимбабве вместо применения метилбромида стали устраивать севооборот — ротацию культур. По исследованиям UNEP, в 90% случаев вместо использования метилбромида можно применять другие методы борьбы с вредителями, причем зачастую это обходится даже дешевле.

## Мораль озоновой истории

350 ученых из 35 стран мира под эгидой Всемирной метеорологической организации в 1999 г. выпустили совместное заявление о состоянии озонового слоя:

---

«Истощение озонового слоя, вызванное созданными человеком хлор- и бромсодержащими соединениями, будет постепенно уменьшаться вплоть до середины XXI в., по мере того, как эти соединения будут выводиться из атмосферы за счет природных процессов. Такое достижение в области защиты окружающей среды стало возможным только за счет исторического международного соглашения по ограничению производства и использования озоноразрушающих веществ»\*.

---

Из озоновой истории можно извлечь ряд уроков, в зависимости от личного мировоззрения и политических склонностей каждого человека. Вот выводы, которые сделали мы сами.

- Очень важно постоянно отслеживать состояние окружающей среды по различным параметрам. Результаты наблюдения должны быть точными и быстро поступать в распоряжение специалистов и широкой общественности.
- Чтобы деятельность человека не вышла за пределы самоподдержания планеты, необходимо проявлять политическую волю в масштабах всего международного сообщества.
- Для заключения международных соглашений, которые позволили бы избежать ущерба для окружающей среды, обычно тре-

---

\* См. отчет: WMO, «Scientific Assessment». С. xxxix.

буются не только технические средства, но и желание смотреть на много лет вперед.

- Странам и их населению не обязательно становиться святыми, чтобы добиться эффективного международного сотрудничества по важным проблемам. Чтобы начать действовать, не нужно обладать полными знаниями по теме или ждать окончательного научного подтверждения.
- Для решения глобальных проблем вовсе не обязательно создавать «всемирное правительство» — нужно просто обеспечить мировое научное сотрудничество, обмен информацией в глобальном масштабе, создать международный форум, который мог бы вырабатывать специальные соглашения, и приложить международные усилия по реализации этих соглашений.
- Ученые, инженеры, политики, корпорации и потребители в случае необходимости могут реагировать достаточно быстро, но все-таки не мгновенно.
- Страшные экономические последствия от мер по защите окружающей среды, которыми пугают общественность промышленные производители, чаще всего сильно преувеличены. Этим аргументом могут спекулировать в надежде замедлить политические изменения. В остальных случаях может сказываться простая недооценка потенциала для технического прогресса и социальных изменений.
- Когда знания по проблеме не слишком глубоки, соглашения по защите окружающей среды надо формулировать гибко, чтобы их можно было периодически пересматривать и уточнять. Нужно постоянно отслеживать состояние проблемы, чтобы при необходимости вовремя принимать дополнительные меры и вносить поправки. Никогда не считайте глобальную проблему решенной раз и навсегда!
- Все действующие лица в озоновой истории были важны. Всем им предстоит играть значимые роли и дальше: инициатор международных переговоров, которым была Программа ООН по окружающей среде (UNEP); правительства отдельных стран, которые взяли на себя роль лидеров; ответственные и умеющие идти на компромисс корпорации; ученые, которые могут и хотят обмениваться информацией с политиками; активисты по защите окружающей среды, которые создают давление; бдительные потребители, желающие изменить свой выбор в пользу экологически чистой продукции; изобретатели и рационализаторы, способные сделать жизнь не только возможной, но и удобной,



а деятельность прибыльной, и чтобы она при этом вписалась в рамки допустимой нагрузки на окружающую среду.

- И конечно, на примере озоновой истории мы можем изучить все аспекты выхода за пределы и увидеть, что катастрофа может стать реальностью: экспоненциальный рост, разрушающийся предел окружающей среды, длительные запаздывания откликов как по физическим, так и по политическим причинам. С момента первого научного предостережения, сделанного в 1974 г., и до подписания Монреальского протокола в 1987 г. прошло 13 лет! Еще столько же прошло между подписанием первого документа и заключением дополнительного соглашения, которое предполагалось окончательно реализовать в 2000 г. Может пройти и еще больше времени, если учесть, что к затягиванию процесса приложили руку те, кто не хочет сотрудничать, нарушает обязательства, занимается контрабандой... На полное выведение хлора из стратосферы уйдет целое столетие после 2050 г.

Эта история — о выходе за пределы. И о том, как человечество может ограничивать свою деятельность, чтобы прийти к устойчивому поведению. Мы надеемся, что она в итоге не превратится в историю о катастрофе. Это зависит от того, насколько озоновый слой способен к восстановлению и какие еще неприятные атмосферные сюрпризы могут нас поджидать. Важно и то, насколько успешно ученые и технические специалисты смогут наблюдать за происходящим, а политики — не допускать исключений из запрета на производство и использование озоноразрушающих веществ. Если все обязательства будут выполнены, то история о возникновении и исчезновении стратосферной озоновой дыры сможет служить хорошим примером для решения проблем с другими глобальными пределами.

## Технология, рынок и выход за пределы

---

Все, что происходит вокруг, подтверждает, что мы постоянно преувеличиваем роль технологий и недооцениваем важность природных ресурсов... Нам нужно... вернуть то, что мы утратили в торопливых попытках переделать мир: ощущение умеренности, осознание важности ресурсов планеты.

*Стюарт Юдалл, 1980 г.*

Вид *Homo sapiens* появился на Земле более 100 000 лет назад. 10 000 лет назад люди уже умели обрабатывать землю и начали создавать постоянные поселения. Последние 300 лет происходит быстрый экспоненциальный рост численности населения и капитала. За эти несколько веков было сделано огромное количество технологических изобретений и произошло множество изменений в социальной сфере: появился паровой двигатель, компьютеры, корпорации, установлены международные торговые соглашения и многое другое. Все это позволило человеческой экономике преодолеть некоторые физические и управленческие пределы и продолжить рост. За последние несколько десятилетий разрастающаяся промышленная культура проникла практически в каждое сообщество на планете, всюду распространив ожидание бесконечного материального роста.

Мысль о том, что у роста могут быть какие-то пределы, для многих людей просто невообразима. О пределах не говорят ни политики, ни экономисты — для них это немыслимо. В культуре укореняется представление о том, что пределов не существует, поскольку везде царит глубочайшая вера в технологии, свободный рынок и экономический рост как средство от любых проблем, даже если они порождены самим ростом.

Чаще всего модель *World3* упрекали в том, что она недооценивает мощь технологий и не учитывает способность свободного рынка адаптироваться к обстоятельствам. Действительно, в исходную мо-

дель *World3* мы не включали отдельные циклы, описывающие технологический прогресс, который мог бы автоматически решить все проблемы, связанные с экспоненциальным ростом экологического следа. Это было сделано намеренно, поскольку мы и тогда не верили, и сейчас не верим, что такие технологические прорывы могут возникнуть сами собой или в результате саморегуляции свободного рынка. Развитие технологий может быть впечатляющим и даже достаточным, но только если в социальной сфере будут приняты определенные решения и если будет желание и средства воплотить их в жизнь. И даже если все сложится именно так, все равно желаемые технологии будут появляться с существенным запаздыванием. Таков наш взгляд на мир сегодня, и таким же он был 30 лет назад. Именно это представление нашло отражение в модели *World3*\*.

Двадцать лет назад некоторые говорили о пределах роста. Но сегодня мы знаем, что рост — двигатель прогресса. Рост — друг окружающей среды.

*Президент Джордж Г. У. Буш (старший), 1992 г.*

Вот в двух словах мой прогноз на будущее: материальный уровень жизни продолжит повышаться для большинства людей, в большинстве стран, практически постоянно и без ограничений. В течение одного-двух столетий все государства и большая часть человечества будут жить так, как сегодня живут в западных странах или даже лучше. Правда, я добавлю: при этом многие люди продолжают утверждать, что условия жизни становятся хуже.

*Джулиан Саймон, 1997 г.*

В 1972 г. Римский клуб опубликовал доклад «Пределы роста», подвергающий сомнению устойчивость роста экономики и численности населения. «Пределы роста» прогнозировали, что к сегодняшнему дню мы уже будем испытывать нехватку продовольствия, уменьшение численности населения, проблемы с доступностью энергии и уменьшение ожидаемой продолжительности жизни. Ни одно из этих пророчеств не сбылось, и нет никаких признаков того, что сбудется в будущем. Так что тут Римский клуб дал маху...

*Нефтяная компания ExxonMobile, 2002 г.*

\*

Разумеется, если предположить, что технический прогресс идет достаточно быстро, а его результаты моментально внедряются в жизнь, то все проблемы, связанные с растущей экологической нагрузкой, должны решаться сами собой. Такой вариант мы описали в сценарии 0 «Бесконечность на входе, бесконечность на выходе» в главе 4.

Технический прогресс и рыночная экономика отобразились в структуре системы косвенно, но зато во многих местах. В модели *World3* мы предположили, что именно рынок будет распределять ограниченный инвестиционный капитал по различным направлениям, и в основном это будет проходить без запаздываний\*. Некоторые достижения технологий нашли отражение в модели — например, средства контроля над рождаемостью, замена одних ресурсов другими, «зеленая» революция в сельском хозяйстве... В некоторых сценариях мы проверяли, к чему приведет ускорение технического прогресса и возможные технологические прорывы в сравнении с обычным ходом событий. Что, если сырье можно будет практически полностью перерабатывать и использовать повторно? Что, если урожайность на единицу площади удвоится еще и еще раз? Что, если выбросы загрязнений будут уменьшаться на 4% в год на протяжении всего текущего столетия?

Даже если так и произойдет, модель мира все равно демонстрирует стремление к выходу за пределы. Даже если появятся сверхэффективные технологии, а рынок проявит на редкость высокую способность к адаптации — все равно: *если эти изменения будут единственными*, модель выдаст сценарии, ведущие к катастрофе.

В этой главе мы объясним почему. Прежде чем начать, должны предупредить, что в этой части книги разговор пойдет не только о научно установленных фактах, но и о том, что всегда было предметом веры. Если мы скажем, что на технологию и рынок распространяются проблемы с пределами, некоторые читатели могут счесть, что мы святотатствуем и что на самом деле мы просто технологоненавистники.

Разумеется, это не так. Донелла получила докторскую степень в Гарвардском университете, Деннис и Йорген защитили докторские диссертации в Массачусетском технологическом институте. Оба этих учебных заведения считаются признанными лидерами в разработке новых технологий. Все мы очень уважительно относимся к науке, верим в ее возможности и в то, что она может помочь решить проблемы человечества. Наша собственная работа над последовательными переизданиями этой книги убеждает нас в удивительной силе технического прогресса. В 1971 г. мы печатали текст первой книги «Пределы роста» на электрических пишущих машинках, графики

---

\* Рынку свойственны периодические временные выходы за рыночные пределы и возвращения обратно. И хотя подобные тенденции мы учитывали в других случаях, но применительно к рынку мы оставили краткосрочные скачки цен за пределами модели *World3* ради упрощения, ведь они не имеют непосредственной связи с глобальными изменениями, которые протекают на протяжении многих десятилетий.

рисовали от руки, а для запуска модели *World3* задействовали большую электронно-вычислительную машину коллективного пользования. На расчет каждого сценария уходило по 10–15 минут. В 1991 г. мы пересмотрели модель, написали вторую книгу, подготовили графики и диаграммы, сделали электронную верстку — и все это на персональных компьютерах. Рассчитать сценарий модели *World3* за 200-летний интервал удавалось уже за 3–5 минут. В 2002 г. мы уже запускали модель *World3* на ноутбуках, работали над совместной редактурой текста через Интернет и сохраняли все результаты на компакт-дисках. Сейчас на прогон модели нужно всего несколько секунд. Мы рассчитываем, что подобные технические усовершенствования помогут уменьшить экологический след и привести его в соответствие с пределами планеты, причем с минимальными неудобствами или жертвами со стороны человека.

И мы вовсе не пытаемся предать анафеме рыночную систему. Мы понимаем и уважаем возможности рынка. Двое из авторов получили докторскую степень в известнейшей бизнес-школе. Йорген занимал пост президента Норвежской школы менеджмента более 8 лет. Деннис был почетным членом Школы бизнеса в Дартмуте более 16 лет. Мы заседали в управляющих советах высокотехнологичных компаний и по собственному опыту знаем, какие сложности связаны с плановой экономикой, к каким абсурдным ситуациям иногда приводит централизованное планирование. Мы очень рассчитываем на получение от рынка четких откликов и на развитие технологий, поскольку это поможет построить устойчивое, эффективное и обеспеченное общество. Но мы не слепо верим в это, и у нас нет объективных оснований, чтобы ожидать, что технический прогресс или рыночная экономика сами по себе создадут такое устойчивое общество. Они не смогут этого сделать без определенных изменений, без понимания, уважения и сознательного стремления к самоподдержанию.

Наша умеренная вера в технологии и рынок основана на знании поведения систем и на умении выразить, *что* из себя представляют технологии и *что именно* может сделать рынок, в виде нелинейных моделей, имеющих обратные связи. Когда есть опыт создания конкретных моделей систем, то вместо туманных областей для предположений вы получаете конкретные знания о функциях экономической системы, ее движущих факторах и ограничениях.

В этой главе мы:

- опишем обратные связи в рыночной системе и в области технологий так, как мы их понимаем и как они нашли отражение в модели *World3*;

- покажем компьютерные расчеты, в которых мы пытались справиться с пределами с помощью все более эффективных технологий;
- объясним, почему стремление к выходу за пределы и катастрофе все равно проявляется в результатах;
- и закончим главу, приведя два конкретных примера из жизни (один — про нефть, другой — про рыболовство), из которых совершенно явно следует, что ни технологии, ни рыночная экономика сами по себе вовсе не гарантируют постепенного перехода к самоподдержанию.

## Технологии и рыночная экономика в «реальном мире»

Что такое технология в нашем «реальном мире»? Способность решить любые проблемы? Физическое воплощение человеческой изобретательности? Постоянное экспоненциальное увеличение количества продукции, которую можно создать за рабочий час или в расчете на единицу капитала? Это означает не ждать милостей от природы, а брать их? Это контроль одних людей над другими, с использованием природы в качестве инструмента? \* Человеческие стереотипы мышления содержат не только такие представления о технологии, но и многие другие в том же духе.

Что такое рынок в нашем «реальном мире»? Кто-то скажет, что это просто место, где продавцы договариваются с покупателями и устанавливают цены, отражающие относительную стоимость определенных благ. Кто-то другой заявит, что свободный рынок — это выдумка экономистов. Тот, кто никогда не имел дела с рынком, свободным от бюрократического управления, заключит, что это некая организация, которая каким-то магическим образом доставляет потребителям неограниченное количество товаров. Рынок — это право и возможность владеть частным капиталом и получать с его помощью прибыль? Или это самый эффективный способ распределения продуктов потребления в обществе? Или это контроль одних людей над другими, с использованием денег в качестве инструмента?

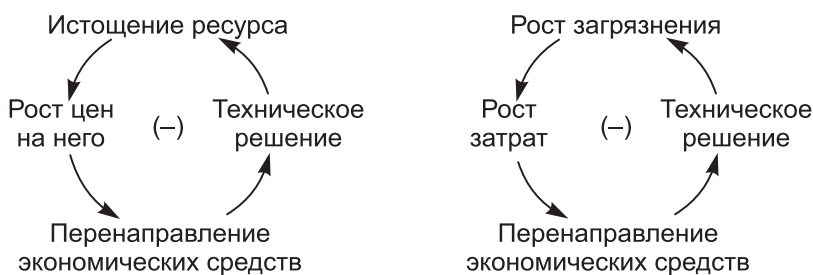
---

\* Эту идею о роли природы как инструмента мы взяли из одного из самых удивительных описаний технологии, которое когда-либо было сделано: *Lewis C. S. The Abolition of Man*, цит. по: *Daly H. Toward a Steady-State Economy*. San Francisco: Freeman Press, 1973.

Скорее всего, когда люди говорят о том, что технологии и рыночная экономика могут устранить проблемы с пределами, они представляют себе примерно следующее:

- возникает некая проблема, связанная с пределами: истощается некий ресурс или в среде происходит накопление загрязнителя;
- рыночная цена истощающегося ресурса начинает увеличиваться в сравнении с ценой на другие ресурсы, или же за загрязнитель приходится расплачиваться дороже, так как растут цены на продукцию или услуги, которые позволяют с этим загрязнением бороться. И здесь обычно следует признание: рынку все-таки нужны существенные внешние корректирующие воздействия — хотя бы для того, чтобы за загрязнение действительно приходилось расплачиваться;
- на растущую цену появляются отклики. Геологам платят за поиск новых месторождений ресурса, биологам — за выведение новых устойчивых сортов, химикам — за синтез новых веществ. Недостаток ресурса стимулирует производителей искать ему замену среди более доступных ресурсов, а также организовывать переработку и повторное использование продукции. Потребители начинают использовать меньше товаров, основанных на редком ресурсе, или же их использование становится более эффективным. Инженеры разрабатывают устройства для борьбы с загрязнением; строят оборудование для улавливания выбросов; модифицируют методы, чтобы загрязнитель вообще не создавался;
- эти отклики меняют на рынке и спрос, и предложение, и в результате взаимодействие продавцов и покупателей определяет, какие технологии и схемы потребления решат проблему быстрее всего и при наименьших затратах;
- наконец, проблема «решена». Система преодолела недостаток какого-то ресурса или уменьшила ущерб, наносимый окружающей среде из-за какого-то загрязнителя;
- все произошло при затратах, приемлемых для общества, и достаточно быстро, чтобы предотвратить непоправимый вред.

Такое представление не описывает технологии и рынок по отдельности — оно предполагает, что между ними налажено эффективное взаимодействие. Рынок должен дать сигнал о том, что возникла проблема, направить средства на поиск решения, а затем среди различных вариантов действий выбрать лучший. Технология необходима для того, чтобы найти конкретные технологические разработки и воплотить выбранный вариант в жизнь. Совокупность рынка и технологий, по идее, должна работать эффективно. Без сигнала



**Схема 9.** Циклы (петли) отрицательной обратной связи

лов от рынка сфера технологии просто не начнет работу по поиску. В свою очередь, без технических разработок и изобретений никакие сигналы от рынка ничего не дадут.

Обратите внимание, модель принимает вид отрицательной обратной связи — причинной цепи, которая генерирует изменение, обратное исходному, позволяя решить проблему и восстановить равновесие (схема 9). Истощение ресурса успешно преодолено. С загрязнением удалось справиться или вообще предотвратить его появление. Общество продолжает экспоненциальный рост.

Мы знаем, что такие адаптивные циклы обратной связи действительно существуют, и они очень важны. Подобные структуры присутствуют во многих подсистемах модели *World3*, хотя и не в виде отдельно взятого цикла, который назывался бы «Технология» и по мановению волшебной палочки решал все проблемы. Технологии нашли косвенное отражение в структуре системы и опосредованно влияют на многие параметры. Например, в модель *World3* заложено автоматическое улучшение здравоохранения. Такое улучшение и увеличение ожидаемой продолжительности жизни происходят всегда, если только сектор услуг в модели в состоянии выделять на это средства. Контроль над рождаемостью в модели *World3* появляется тогда, когда система здравоохранения в состоянии поддержать это и когда предпочтительным становится маленький размер семьи. Автоматическое увеличение урожайности тоже заложено в модель *World3* — оно происходит при условии, что продовольствия недостаточно и что доступны средства, чтобы направить их на увеличение производства продуктов питания.

Когда истощаются невозобновимые ресурсы, экономика модели *World3* направляет больше капитала на разведку и разработку новых месторождений. Мы предположили, что исходные объемы невозобновимых ресурсов можно израсходовать полностью, но при этом из-за постепенного истощения ресурса его добыча будет становиться все дороже и дороже. Мы также заложили в модель возмож-



ность того, что невозобновимым ресурсам будет найдена равнозначная замена, причем без дополнительных затрат и запаздываний. Поэтому мы свели все технологические улучшения и усовершенствования воедино и на отдельные виды их не подразделяем.

Изменяя в модели численные значения, можно усилить или ослабить те или иные связи между технологиями и рыночной экономикой. Если оставить численные значения в модели по умолчанию, то они соответствуют примерно тому же уровню промышленного производства на душу населения, что характерен на сегодня для стран с развитой промышленностью.

В модели *World3* отражены многие технологии: здравоохранение, контроль над рождаемостью, сельскохозяйственные разработки, поиск ресурсов и заменителей — все они дают сектору капитала оперативные и точные сигналы. В ответ в соответствующую область немедленно направляются средства — естественно, при условии, что система располагает для этого достаточным промышленным капиталом или капиталом сферы услуг. Мы не закладываем в систему точные цены, поскольку считаем, что они выполняют лишь промежуточную роль в механизме адаптации, который срабатывает мгновенно и с абсолютной эффективностью. Этот механизм можно представить в виде связи (например, «истощение приводит к появлению технологического отклика»), в которой нет промежуточного звена — цен. Такое допущение позволяет сгладить множество запаздываний и неточностей, свойственных «реальным» рыночным системам.

Ряд других технологий в модели *World3* не отражен, если только мы не встраиваем их специально, чтобы получить конкретный сценарий. В этом списке эффективность использования ресурсов и их переработка, борьба с загрязнениями и эрозией почв, необычное увеличение урожайности... Когда мы только создали модель, эти технологии не рассматривались. Их учли только после того, как они получили техническое подтверждение и уже были где-то внедрены — теми, кто мог себе позволить за это заплатить\*. Тогда мы запрограммировали их так, чтобы технологии можно было разово ак-

\*

Это предположение было сделано в 1970 г.; в то время мы применили такие технологии разово в расчетном 1975 г. К реальному 1990 г. некоторые из подобных технологий уже были внедрены в мировую экономику. Поэтому в модель *World3* мы внесли серьезные изменения в некоторые численные значения — например, существенно уменьшили количество ресурсов на единицу промышленной продукции. Такие численные изменения подробно описаны в приложении к книге: Meadows D. H., Meadows D. L., Randers J. *Beyond the Limits*. Post Mills, VT: Chelsea Green Publishing Company, 1992. В издании на русском языке эта информация также присутствует в приложении: Медоуз Д. Х., Медоуз Д. Л., Рэндерс Й. *За пределами роста*. М.: Прогресс: Пангея, 1994. 304 с.

тивировать в тот момент, который укажет пользователь модели. Например, кто-то может предположить, что весь мир возьмет на себя обязательство повсеместно внедрить повторное использование ресурсов с 2005 г. или везде будут предприняты усилия по уменьшению загрязнений к 2015 г. В текущей версии системы *World3* эти варианты реализованы в виде «адаптивных технологий», которые разрабатываются постепенно, в ответ на то, что в смоделированном мире возникла потребность в большем количестве ресурсов, в уменьшении загрязнения или в производстве большего количества продовольствия\*. Но эффективность таких технологий остается на усмотрение пользователя модели. Такие технологии, «включаемые» в определенный момент, конечно, требуют вложения капитала, и сказываться они начинают не раньше, чем завершится период разработки и внедрения, который обычно составляет 20 лет.

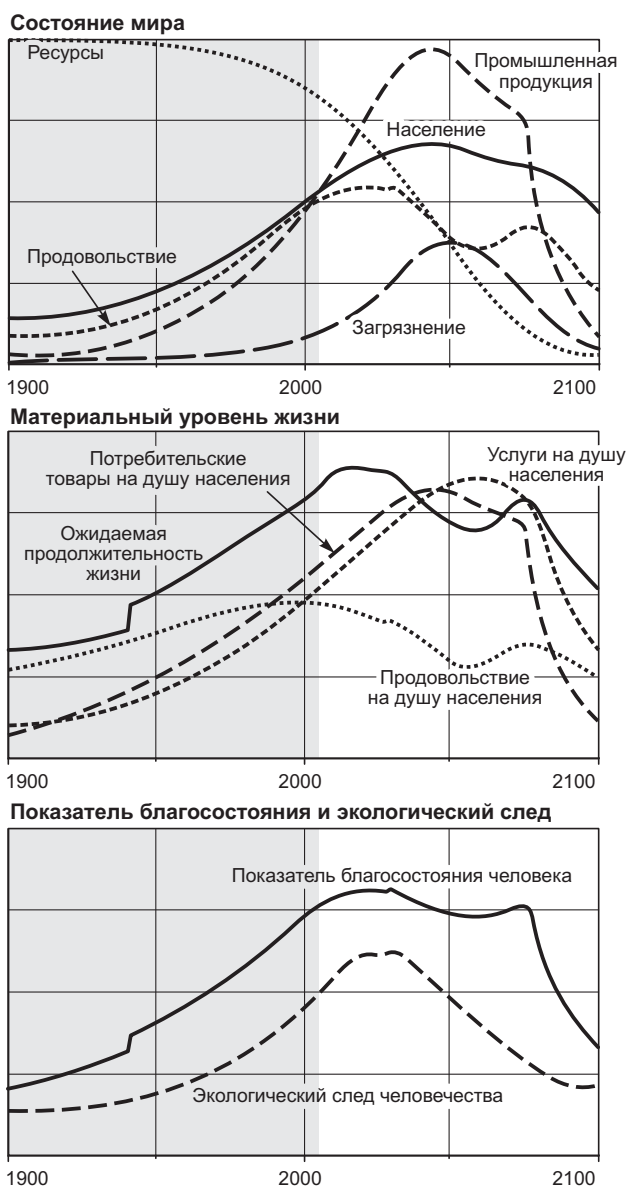
Компьютерная модель удобна тем, что позволяет проверить разные предположения, посмотреть различные варианты будущего. Например, можно взять сценарий 2 (последний расчет, показанный в главе 4, — рост в нем закончился из-за наступившего кризиса загрязнений) и поинтересоваться: а что произошло бы, ответь смоделированный мир на рост кривой загрязнения адресными инвестициями в технологии, уменьшающие загрязнение окружающей среды? Сценарий 3, показанный на рис. 6.1, отвечает на этот вопрос.

## Расширение пределов модели *World3* с помощью технологий

В сценарии 3 и дальнейших компьютерных расчетах в этой книге мы используем те же увеличенные запасы невозобновимых ресурсов и усовершенствованные технологии добычи, что и в сценарии 2. В конкретных цифрах это означает такое количество невозобновимых ресурсов, что в 2000 г. их запасов будет достаточно в течение 150 лет при сохранении той же скорости потребления. На добычу ресурсов ежегодно отводится 5% валового промышленного продукта. Сценарий 2 будет служить для сравнения, чтобы оценивать роль технологий и политических изменений.

Мы вносили изменения в систему по одному: сначала технологии уменьшения выбросов загрязнений, затем методы повышения урожайности и т. д., но не потому, что мир может внедрять их только по

\* Формулировку «адаптивные технологии» мы использовали уже в 1970-х гг., когда готовили технический отчет для исследования «Пределы роста». См. работу: Meadows D. L. et al. *Dynamics of Growth in a Finite World*. Cambridge, MA: Wright-Allen Press, 1974. С. 525–537 (на русский язык не переводилась).



**Рис. 6.1.** Сценарий 3: больше невозобновимых ресурсов, более развитые технологии ограничения выбросов

В этом сценарии предполагается тот же объем невозобновимых ресурсов, что и в сценарии 2, а также более эффективное ограничение выбросов в окружающую среду, что позволяет снизить количество загрязнений на единицу промышленной продукции вплоть до 4% в год, начиная с 2002 г. Это позволяет достичь значительно более высокого уровня благосостояния для большего количества людей после 2040 г., поскольку негативных последствий от загрязнений меньше. Однако производство продовольствия в конце концов снижается, отвлекая капитал из промышленного сектора и в итоге все равно вызывая катастрофу.

одной за раз, а потому, что такое разделение позволяет лучше понять, как модель откликается на каждое изменение. Даже когда мы сами проводили многочисленные прогоны модели *World3* и хотели увидеть эффект от внедрения всех трех технологий одновременно, сначала вносили изменения по одному, чтобы понять эффект от каждой технологии по отдельности, и лишь в конце пробовали, что получится, если внедрить их все сразу.

Для многих экономистов технология — это отдельный коэффициент в полном варианте производственной функции Кобба–Дугласа\*. Он работает автоматически, без запаздывания, каких-либо ограничений, дополнительных расходов и дает только желательный эффект. Неудивительно, что экономисты так слепо верят в потенциал технологий для решения проблем человечества! Однако в «реальном мире» у нас нет технологий с такими волшебными свойствами. Разработки, которые нам доступны, направлены на решение конкретных проблем; все они стоят денег и требуют длительного времени на создание и внедрение. После того как пригодность технологии доказана лабораторными методами, нужно определенное время, чтобы получить средства на внедрение, нанять рабочих, персонал по продажам и обслуживанию, задействовать маркетинговые и финансовые механизмы, и только тогда разработку начинают применять повсеместно. Часто наряду с полезным эффектом наблюдаются и негативные, неожиданные побочные эффекты, проявляющиеся со временем. А лучшие технологии еще и защищают патентами. Их держатели ревностно следят за тем, чтобы за использование платили высокую цену, и часто выставляют дополнительные условия, ограничивающие широкое применение новых разработок.

В модели *World3* невозможно, да и не имело бы смысла представлять технологии во всем их разнообразии. Вместо этого мы учли в модели технологические усовершенствования в конкретных областях — уменьшение загрязнения окружающей среды, более полное использование ресурсов, повышение урожайности — и для каждой ввели три сводных параметра: итоговая цель; годовой процент улучшения, достигнутый в самой успешной лаборатории в мире; а также среднее запаздывание между лабораторными экспериментами и широким использованием технологии в реальных условиях. В каждом из сценариев мы внедряли отдельную технологию, а в осталь-

\* Функция Кобба–Дугласа была получена эмпирически при попытках выявить зависимость между величиной вкладываемого капитала и труда и объемом выпускаемой продукции.

Общий вид:  $Q = A \times L^\alpha \times K^\beta$ , где  $A$  — технологический коэффициент,  $L$  — вкладываемый труд,  $K$  — затрачиваемый капитал,  $\alpha$  — коэффициент эластичности по труду,  $\beta$  — коэффициент эластичности по капиталу. — *Прим. пер.*

ных расчетах предполагали, что если в системе возникает потребность, то лабораторная технология может увеличивать эффективность ежегодно максимум на 4%. Мы также учли в модели, что от разработки новой технологии в лаборатории до ее повсеместного использования в мировом производстве в среднем проходит 20 лет. Таблица 6.1 показывает, как эти предположения отразились на выбросах стойких загрязнителей в сценарии 3.

Таблица 6.1

**Влияние технологии на выбросы стойких загрязнителей  
в модели *World3***

| Год  | Снижение, % |
|------|-------------|
| 2000 | 0           |
| 2020 | 10          |
| 2040 | 48          |
| 2060 | 75          |
| 2080 | 89          |
| 2100 | 95          |

Если лабораторные технологии позволяют ежегодно увеличивать эффективность на 4%, а их внедрение в мировое производство происходит со средним запаздыванием в 20 лет, то выбросы загрязнений в окружающую среду можно довольно быстро уменьшить. В таблице приведены процентные значения для снижения выбросов, достигнутого в модели *World3* в сценарии 3 после того, как смоделированное население в 2002 расчетном году пытается уменьшить загрязнение с максимально возможной скоростью, какую только может обеспечить технический прогресс.

Предположим, что определенное количество сельскохозяйственного и промышленного капитала в 2000 г. приводит к выбросам 1000 единиц стойких химических загрязнений. Если технология ежегодно увеличивает эффективность на 4% и если запаздывание на повсеместное распространение технологии составляет 20 лет, то в 2020 г. тот же капитал произведет уже только 900 единиц выбросов. К 2040 г. выбросы снизятся почти вдвое, а к 2100 г. составят только 5% от исходного уровня. В модели *World3* при активации соответствующей технологии подобного же результата можно достичь для повышения урожайности и для увеличения эффективности использования ресурсов.

В сценарии 3 мы предположили, что в 2002 расчетном году (до того, как мировой уровень загрязнений увеличился настолько, что-

бы нанести серьезный ущерб здоровью людей или отразиться на урожайности посевов) мир решил уменьшить загрязнение окружающей среды до уровня, характерного для середины 1970-х гг., и систематически направляет средства для достижения этой цели. Для борьбы с загрязнениями выбирается способ «на конце трубы»: выбросы улавливают на месте их появления, но при этом никто не занимается модификацией производственных процессов таким образом, чтобы загрязняющие вещества вообще не создавались. Выбросы снижаются в соответствии с табл. 6.1; для этого потребовалось увеличить инвестиции капитала максимум на 20%. К 2100 расчетному году уровень загрязнения уменьшается до относительно низкого значения, которое было характерно для начала XXI в.

В этом сценарии загрязнение растет на протяжении примерно 50 лет, несмотря на специальную программу борьбы с выбросами — сказываются запаздывания во внедрении и продолжающийся рост промышленного производства. Однако уровень загрязнения все-таки существенно ниже, чем в сценарии 2. Он никогда не достигает значения, на котором проявляется вред здоровью людей, и за счет этого «антизагрязнительного» эффекта эпоха большой численности населения и высокого уровня достатка длится на одно поколение дольше. Хорошие времена заканчиваются в 2080-х гг. — сорока годами позже, чем в сценарии 2. Показатель благосостояния человека в этот период резко снижается. Загрязнение успевает негативно повлиять на урожайность несколько раньше. Она не снижается сразу же лишь потому, что уменьшение продуктивности земель частично компенсируется за счет направления в сельское хозяйство дополнительных потоков. В «реальном мире» примерами такого подхода могут служить применение извести для нейтрализации последствий кислотных дождей, использование удобрений для восполнения питательных веществ в почве (обычно такие вещества создают почвенные микроорганизмы, но из-за применения пестицидов их популяции гибнут), а также организация орошения, чтобы компенсировать недостаток осадков, вызванный изменением климата.

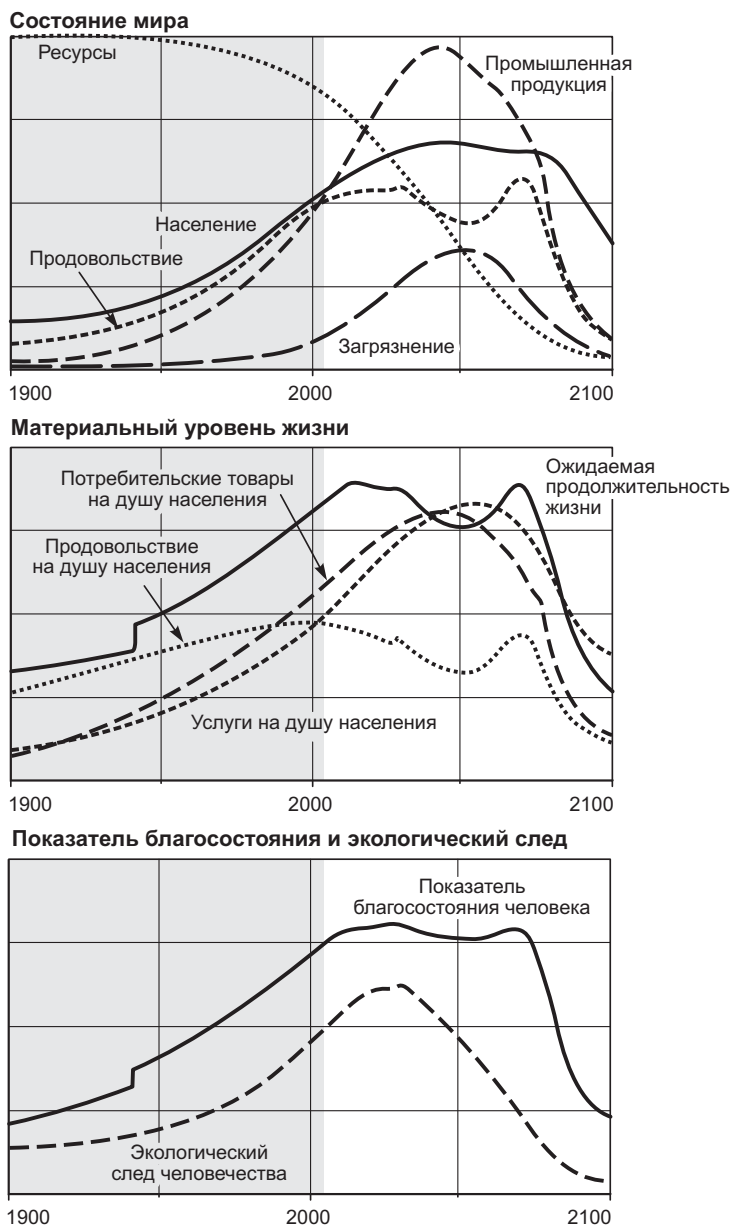
В сценарии 3 борются две противоположные тенденции: уменьшение плодородия почвы и увеличение использования сельскохозяйственных химикатов. С расчетного 2010 г. по расчетный 2030 г. производство продовольствия поддерживается на постоянном уровне. Тем временем численность населения продолжает расти, поэтому душевое производство продовольствия начинает уменьшаться. Несколько десятилетий производство промышленной продукции и услуг позволяет поддерживать достаточно высокий уровень жизни, несмотря на то, что сельское хозяйство требует все больших инвести-

ций. Затем, чуть позже, инвестиции нужны еще и для того, чтобы преодолеть последствия от деградации окружающей среды. В последней трети XXI в. уровень загрязнения снижается настолько, что продуктивность земель восстанавливается. Однако численность населения уже очень велика, площадь сельскохозяйственных угодий уменьшается из-за разрастания городов и эрозионных процессов. Более того, во второй половине столетия быстро снижается производство промышленной продукции, поскольку слишком много инвестиций было отвлечено от воспроизводства промышленного капитала (амортизации), чтобы направить их в сельское хозяйство и на борьбу с загрязнением окружающей среды. Экономика приходит в упадок еще и из-за истощения невозобновимых ресурсов, нарастающего в конце столетия, и в результате наступает катастрофа.

Общество в сценарии 3 существенно снижает уровень загрязнения, ему удается поддерживать высокий показатель благосостояния человека довольно продолжительное время. Однако в конце концов возникают проблемы с продовольствием. Сценарий 3 можно охарактеризовать как «кризис продовольствия». Разумеется, в «реальной жизни» можно принять меры к тому, чтобы производство продовольствия поддерживалось на желаемом уровне. Что произойдет, если общество направит все технологические усилия на то, чтобы решить проблему продовольствия? Один из возможных результатов показан на рис. 6.2, в сценарии 4.

В этом варианте расчета тоже присутствует программа борьбы с загрязнениями — та же, что и в сценарии 3. Но одновременно с ней, в том же 2002 расчетном году, общество решает принять экстренные меры еще и к преодолению продовольственной проблемы, предвестники которой появляются уже в конце 1990-х гг. На разработку технологий по увеличению урожайности сельскохозяйственных культур направляются большие средства. До широкого внедрения таких разработок на всех фермерских полях в мире проходит в среднем 20 лет, и в ответ на потребность в продовольствии урожайность начинает увеличиваться на 4% в год. Инвестиции в технологии приводят к росту затрат капитала почти на 6% в 2040 г., и на полные 8% в 2100 г. До 2050 г. значительной прибавки в урожайности нет, поскольку на тот момент продовольствия и без того достаточно. Однако во второй половине столетия средняя продуктивность значительно возрастает в результате экспоненциальной природы технологического прогресса, заложенного в этот сценарий.

В результате примерно в середине XXI в. мы получаем продолжительный период с высокой численностью населения и высоким уровнем благосостояния человека. Новые технологии в аграрном сек-



**Рис. 6.2.** Сценарий 4: больше невозобновимых ресурсов, более развитые технологии ограничения выбросов и увеличения урожайности земель

Если к модели мира добавить не только технологии ограничения выбросов, но и набор методов для увеличения производства продовольствия на единицу площади сельскохозяйственных угодий, то высокая интенсивность землепользования приводит к быстрому истощению и потере земель. Фермеры мира будут безуспешно пытаться получить все больше продовольствия со все меньших площадей, до бесконечности это делать невозможно.



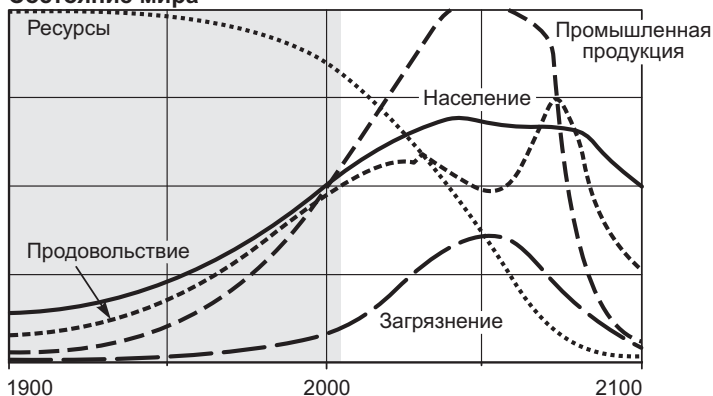
торе с 2050 г. помогают увеличивать производство продовольствия (в сравнении со сценарием 3), но проблему с продуктами питания это не решает, поскольку уменьшение урожайности и потеря пахотных земель из-за эрозии и урбанизации в конце концов пересиливают все положительные эффекты от сельскохозяйственных инноваций. Начиная с 2070 г., производство продовольствия снижается. Высокая интенсивность землепользования в этом сценарии приводит к прогрессирующей эрозии земель, причем не только из-за утраты почвенного слоя, но и из-за уменьшения содержания в нем питательных веществ, уплотнения грунта, засоления и других процессов, которые снижают продуктивность.

Плодородной земли будет оставаться все меньше, и фермерам придется пытаться собрать больший урожай с меньшей площади. Высокая интенсивность землепользования вызывает еще большую эрозию — в силу вступает положительный цикл обратной связи, который ведет к разрушению земель. Сценарий 4 можно назвать «кризисом эрозии земель». Он достигает максимума после 2070 г., и пахотных угодий в этот период катастрофически не хватает. С таким кризисом быстро справиться невозможно даже за счет высокоурожайных сельскохозяйственных технологий. В результате нехватка продовольствия приводит к уменьшению численности населения. Аграрный сектор, переживающий большие проблемы, требует все больше и больше капитала и человеческих ресурсов, отвлекая их от других направлений, а ведь в то же самое время капиталовложения остро необходимы ресурсодобывающему сектору. Катастрофа наступает еще до 2100 г. и затрагивает практически все сферы жизни.

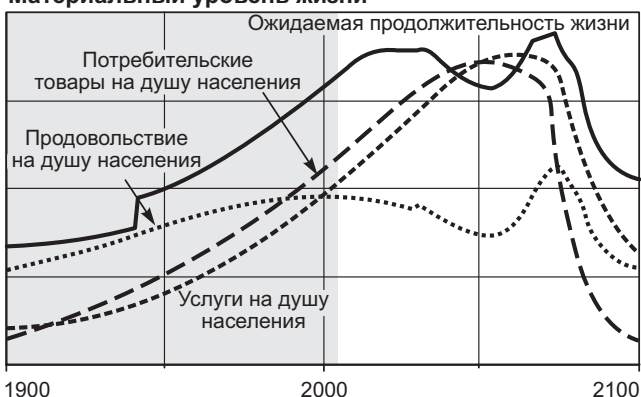
Конечно, ни одно здравомыслящее общество не станет применять технологии, увеличивающие урожайность за счет разрушения земель. К сожалению, в реальной жизни примеров подобного поведения — масса. В Центральной долине в Калифорнии многие угодья деградировали в результате засоления, а на землях, расположенных буквально на расстоянии вытянутой руки, продолжают применять те же самые методы, чтобы увеличить урожайность... Но давайте все-таки предположим, что грядущие поколения будут вести себя более разумно. Пусть в модели появятся технологии защиты земель от загрязнения и методы, позволяющие увеличить продуктивность без негативных последствий. В сценарии 5 на рис. 6.3 показано, как ведет себя система, в которой такие изменения вступили в силу.

В этом сценарии в дополнение к уже внесенным в систему технологиям уменьшения загрязнения и повышения урожайности с 2002 г. начинает действовать международная программа борьбы с эрозией

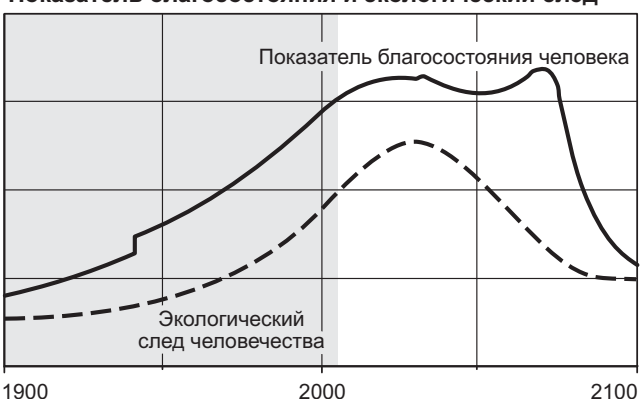
### Состояние мира



### Материальный уровень жизни



### Показатель благосостояния и экологический след



**Рис. 6.3.** Сценарий 5: больше невозобновимых ресурсов, более развитые технологии ограничения выбросов и увеличения урожайности земель, плюс программа защиты земель от эрозии

В этом сценарии к технологиям, повышающим урожайность и снижающим загрязнение, добавляются меры по защите земель от эрозии. В результате катастрофа отодвигается на еще более позднее время и наступает только к концу XXI в.

земель. Как вы помните, первые две программы потребовали дополнительных капиталовложений. С третьей будет иначе: мы предполагаем, что она не потребует дополнительных инвестиций, так как для ее осуществления нужно просто применять более бережные технологии ведения сельского хозяйства, продлевая время жизни почв.

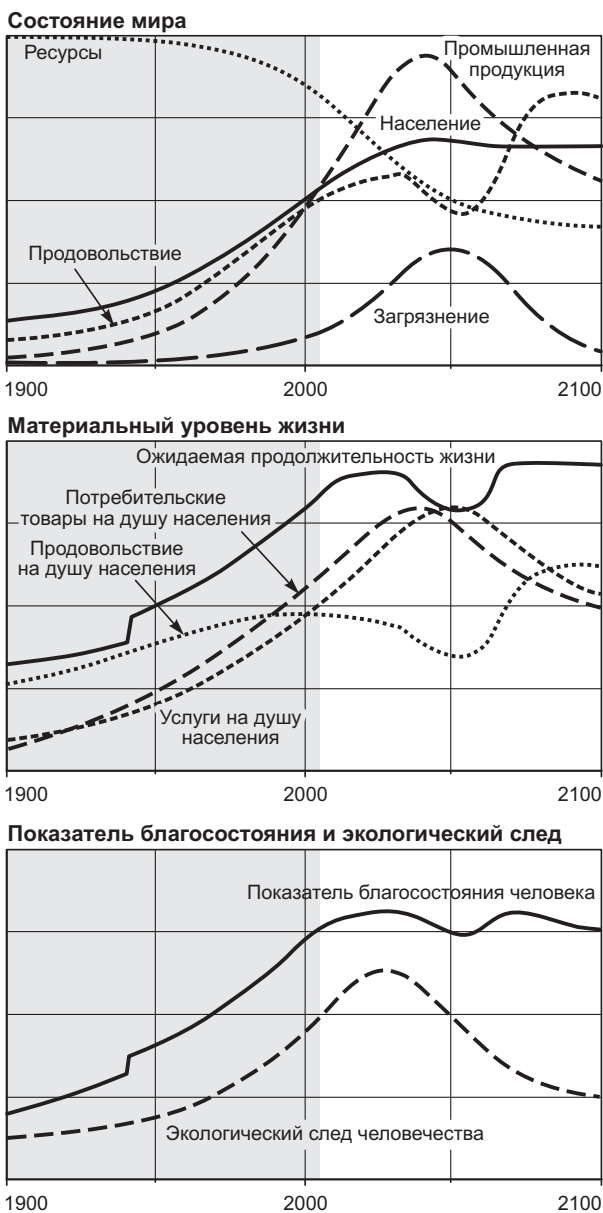
Эта программа не дает сколько-нибудь заметных положительных результатов до 2050 г., но зато во второй половине XXI в. скорости разрушения почв существенно снижаются за счет применения более бережных технологий землепользования. В итоге период высокого благосостояния человека длится более продолжительное время, даже после 2070 г. Но этот результат неустойчив, и его не удастся надолго удержать. В сценарии 5 катастрофа наступает из-за сочетания кризисов сразу по нескольким отраслям, наступающих практически одновременно: истощаются ресурсы, не хватает продовольствия, затраты необычайно возросли. Примерно до 2070 г. средний показатель человеческого благосостояния остается относительно высоким, несмотря на неприятные колебания параметров, из которых он формируется. Продовольствия в целом хватает (хотя его производство снижается в середине столетия), загрязнение среды держится на терпимом уровне (хотя в середине столетия достигает довольно высоких значений), экономика растет как минимум до 2050 г., услуги становятся более доступными, ожидаемая продолжительность жизни превышает 70 лет. Однако после 2070 г. затраты на различные технологии и растущие расходы на добычу невозобновимых ресурсов из практически истощенных месторождений требуют капиталов больше, чем экономика в состоянии дать. Результат — довольно резкий спад. Сценарий 5 можно назвать комбинацией нескольких кризисов.

Кто-то может спросить, какое из направлений деятельности общества «даст слабину» и придет в упадок первым? Общество допустит, чтобы произошло разрушение земель? Или не уследит за сильным загрязнением среды? Или столкнется с нехваткой сырья? Модель *World3* предполагает, что добыче сырья и ископаемого топлива будет отдан приоритет, поскольку они необходимы для поддержания производства промышленной продукции, которая, в свою очередь, необходима для инвестирования в другие сектора экономики. Конкретный выбор и точная схема поведения системы в тот момент, когда капитала на все не хватает, не так уж важны. Мы не претендуем на роль предсказателей того, *как* поступит мир, если действительно столкнется с такой ситуацией. Нас не интересуют конкретные значения конкретных параметров после того, как произошла катастрофа. Нам важно увидеть, что само наступление катастрофы возможно, что общество *может* с этим столкнуться.

Если последняя капля, вызывающая глобальную катастрофу в сценарии 5, — истощение невозобновимых ресурсов, тогда должна помочь программа ресурсосбережения. Добавим ее к предыдущим технологиям. На рис. 6.4 показан результат: сценарий 6.

В 2002 г. запускается программа, позволяющая снизить потребление невозобновимых ресурсов на единицу промышленной продукции со скоростью до 4% в год. Предыдущие программы остаются в силе: уменьшение загрязнения окружающей среды, повышение продуктивности земель, защита от эрозии. Фактически все вместе они составляют грандиозную программу увеличения экологической эффективности, и расходы на нее тоже грандиозны — они на 20% возрастают к 2050 г. и на 100% — к 2090 г. Основная цель — значительное уменьшение экологического следа человечества.

Такое мощное сочетание технологий позволяет избежать катастрофы, которая в сценарии 5 наступила в последней трети XXI в. Однако все разработки дают желаемый результат слишком поздно, и это не позволяет предотвратить постепенное снижение показателя благосостояния человека в последней трети XXI в. Численность населения уменьшается незначительно, но около 2050 г. временно наблюдается довольно серьезное уменьшение ожидаемой продолжительности жизни. Параллельно с этим снижается производство продовольствия, поскольку уровень загрязнения достаточно высок, чтобы это сказалось на плодородии земель. Но эту проблему в конце концов удастся преодолеть — дают результат технологии увеличения урожайности и уменьшения загрязнения среды. Невозобновимые ресурсы расходуются медленнее, их стоимость остается на достаточно низком уровне. К концу века, в течение которого произошло столько событий, стабилизовавшаяся численность населения составляет около 8 млрд человек, которые живут в высокотехнологичном мире, при невысоком уровне загрязнения. Показатель благосостояния человека примерно такой же, что был в 2000 г. Ожидаемая продолжительность жизни и производство продовольствия на душу населения больше, доступность услуг такая же, а производство потребительских товаров на душу населения ниже, чем те же показатели в начале XXI в. Производство промышленной продукции начинает уменьшаться примерно в 2040 г., поскольку капитал отвлекают от реинвестирования в промышленность и направляют на более насущные задачи: защиту населения от голода, среды — от загрязнения, земель — от эрозии. Да и постепенное истощение невозобновимых ресурсов тоже приводит к расходам. Вскоре после этого уменьшается производство услуг на душу населения и материальное потребление. В конце концов смоделированный мир уже не может



**Рис. 6.4.** Сценарий 6: больше невозобновимых ресурсов, более развитые технологии ограничения выбросов и увеличения урожайности земель, программа защиты земель от эрозии и ресурсосберегающие технологии

Теперь в смоделированном мире развиваются мощные технологии, одновременно позволяющие снизить загрязнение, повысить урожайность, защитить земли и расходовать ресурсы экономно. Все эти технологии требуют капиталовложений, и до момента их внедрения проходит 20 лет. В совокупности они должны обеспечить процветание миру с большим населением, пока идиллия не закончится из-за того, что все технологии требуют капиталовложений.

поддерживать высокие жизненные стандарты, так как технологический сектор, социальные услуги и потребность в новых капиталовложениях, взятые вместе, становятся для экономики неподъемными — наступает кризис инвестиций.

## Ограничение применимости результатов

После работы с моделью — компьютерной ли, мысленной ли — всегда полезно сделать шаг назад и напомнить себе, что мы имели дело вовсе не с «реальным миром», а с упрощением, моделью, которая в чем-то достаточно реалистично описывала прототип, а в чем-то другом — не очень. Суть в том, чтобы понять, какие из особенностей сценариев действительно были похожи на правду. Также важно помнить о том, что полезность модели ограничивается допущениями в задании начальных условий и внесенными в нее намеренными упрощениями. Проведя серию расчетов, мы должны остановиться и проанализировать систему.

Нужно напомнить, что модель *World3* не различает богатые и бедные страны мира. Все, что касается голода, истощения природных ресурсов и загрязнения, в модели относится к миру в целом, и глобальное сообщество реагирует на них тоже как единое целое. Такое упрощение делает модель склонной к очень оптимистичным оценкам. В «реальном мире» голод, как правило, охватывает Африку; кризис загрязнения касается в основном Центральной Европы; деградация земель остро ощущается в тропических регионах. Если с проблемами будут сталкиваться в первую очередь страны, менее развитые технически и экономически, то ждать от них принятия мер придется очень долго. «Реальный мир» не может отвечать на проблемы с такой же оперативностью, что и модель *World3*.

Рынок в модели работает эффективно, технологии действенны и успешны, не преподносят неожиданных сюрпризов в виде побочных эффектов, так что в этом модель тоже очень оптимистична. Она предполагает, что политические решения принимаются без запаздывания и каких-либо затрат. Мы также должны помнить, что в модели *World3* нет оборонной промышленности и армии, которые отнимают капитал и ресурсы у производящих отраслей. В модели нет войн, в которых гибнут люди, рушится все, что создано человеческими руками, горит земля и разрушается природа. Нет этнической напряженности, забастовок, коррупции, атомных взрывов, эпидемий СПИДа, извержений вулканов, наводнений, землетрясений и других природных катаклизмов. Так что модель не просто оптимистич-

на, а чрезвычайно оптимистична. Она описывает «реальный мир» в его самом лучшем, идеализированном представлении.

Вместе с тем некоторые читатели скажут, что технологии в модели слишком ограничены. Люди предпочли бы видеть технический прогресс всесильным, безграничным, действующим практически мгновенно — что-то вроде сценария 0. Наши предположения о залежах новых ресурсов, площадях потенциально пахотных земель и о способности среды разлагать загрязнения могут быть заниженными. Но могут быть и завышенными. Мы пытались сделать их похожими на правду, основываясь на тех данных, что были доступны, и на собственном представлении о том, что технически возможно, а что нет.

Учитывая все эти неопределенности, мы, разумеется, не должны оценивать полученные в разных сценариях графики количественно. Не так уж важно, что продовольственный кризис в сценарии 3 наступит раньше, чем кризис ресурсов. Может быть, они произойдут в другом порядке. Мы не предсказываем, что уменьшение промышленного производства начнется именно в 2040 г., как в сценарии 6. Имеющихся в нашем распоряжении статистических данных недостаточно для того, чтобы модель *World3* могла делать точные расчеты, да и любой другой модели это не под силу.

В таком случае, что полезного мы можем узнать из результатов моделирования?

## **Почему технологии и рынок сами по себе не могут предотвратить выход за пределы**

Все проведенные ранее эксперименты с моделью можно объединить общим выводом: экологический след человечества стремится выйти за допустимые пределы, и в результате происходят события, которые принудительно его уменьшают. Обычно такое уменьшение связано с понижением жизненных стандартов из-за нехватки продовольствия, недостатка промышленных товаров и услуг в расчете на каждого человека, чрезмерного загрязнения окружающей среды. Естественная человеческая реакция — попытаться справиться с таким принуждением, чтобы продолжить рост экономики и численности населения.

Из шести приведенных ранее сценариев можно извлечь урок: в сложном, физически ограниченном мире, даже если удалить один предел и продолжить рост, вы просто столкнетесь с другим пределом. В особенности это касается экспоненциального роста: он дойдет до другого предела очень быстро. Существуют *уровни пределов*. В модели *World3* их всего несколько. В «реальном мире» их гораздо боль-



ше, причем все они разные, специфические, характерные для одного региона и не характерные для другого. Лишь немногие пределы носят поистине глобальный характер — как, например, истощение озонового слоя или изменение климата.

Мы считаем, что в «реальном мире» при продолжении роста разные регионы будут наталкиваться на разные пределы. Это будет происходить в разном порядке и в разное время, но пределы повсюду будут *последовательными* и *множественными*, и в этом ситуация будет похожа на то, что нам продемонстрировала модель *World3*. Если же учесть глобализацию экономики, которая сейчас только усиливается, то даже если с кризисом столкнется только часть земного шара, это все равно затронет и другие части света, словно круги на воде. Глобализация вообще увеличивает вероятность того, что разные страны мира, вовлеченные в торговые отношения, будут сталкиваться с пределами в той или иной степени одновременно.

Приведенные сценарии показывают, что экологический след можно уменьшить за счет развития и использования технологий, которые снижают потребность промышленности и сельского хозяйства в энергии и сырье. Если такие технологии применяются повсеместно, они позволяют достичь более высоких жизненных стандартов при той же нагрузке на окружающую среду. Это та самая «дематериализация» глобальной экономики, о которой так много говорят сегодня.

Еще один урок состоит в том, что чем успешнее общество преодолевает пределы за счет экономической и технологической адаптации, тем выше вероятность последующего столкновения с несколькими пределами одновременно. В большинстве прогонов модели *World3*, включая те, что мы не приводим в книге (а их было очень много), мировая система никогда не исчерпывала тот или иной ресурс полностью — это касается и земель, и продовольствия, и ресурсов, и способности среды поглощать загрязнения. Заканчивался не сам ресурс, а способность мира *справиться с изменившейся ситуацией*.

Такая «способность справиться» в модели *World3* представлена очень упрощенно, в виде количества промышленной продукции, доступной каждый год для направления на решение тех или иных проблем. В «реальном мире» на «способность справиться» влияет множество самых разных факторов: количество квалифицированных специалистов, их мотивация; наличие политического внимания и воли; допустимый уровень финансовых рисков; возможности различных организаций и институтов развивать, распространять и внедрять новые технологии; эффективность управления; умение



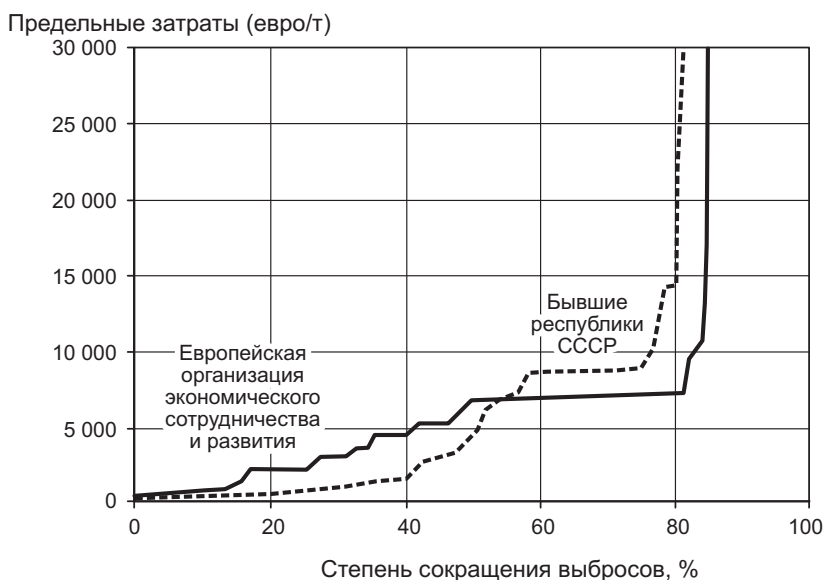
средств массовой информации и политических лидеров сосредотачиваться на ключевых проблемах; единодушные избирателей в выборе приоритетов. Важно и то, как далеко люди заглядывают в будущее и насколько они способны предвидеть проблемы. Все эти способности со временем можно развить, но это требует финансовых вложений. И в любом случае они не безграничны и могут справиться не со всякой проблемой и не всегда. Если проблемы будут нарастать экспоненциально, как снежный ком, то сразу со всеми справиться не удастся, даже если каждая из них по отдельности может быть успешно решена.

*Время* — это, пожалуй, крайний предел в модели *World3*. И в «реальном мире» тоже, мы в этом уверены. Если бы у человечества времени было сколько угодно, то способность справляться с проблемами была бы практически безграничной. Рост (в особенности экспоненциальный) так коварен потому, что времени на принятие действенных мер очень мало, и чем дальше, тем его становится еще меньше. Нагрузка на систему растет все быстрее и быстрее, до тех пор, пока не превысит способность справляться с ней. Возможно, для относительно медленных изменений этой способности еще хватало, но в условиях ускорения она рано или поздно обязательно даст сбой.

Существуют еще три причины, по которым технологии и рыночная экономика (которые раньше вполне справлялись со своими задачами) не могут решить проблемы общества, несущегося навстречу пределам с экспоненциальной скоростью. Эти причины — цели, расходы и запаздывания. Первая состоит в том, что рынок и технологии — это лишь инструменты в достижении цели. Они зависят от этики, которую исповедует общество, и временных горизонтов, на которые оно ориентируется. Если общество ставит целью эксплуатировать природу, обогащать элиту и игнорировать долговременные перспективы, тогда оно развивает технологии и рыночные принципы, которые разрушают окружающую среду, увеличивают разрыв между богатыми и бедными и преследуют только краткосрочные цели. Фактически такое общество развивает технологии и рынок, ускоряющие наступление катастрофы, вместо того, чтобы предотвратить ее.

Вторая причина состоит в том, что любые разработки требуют средств, и это обуславливает слабость технологий. *Затраты* на технические разработки и рынок можно выразить через расход ресурсов, энергии, денег, труда и капитала. Они растут нелинейно по мере приближения пределов, и в этом еще одно объяснение неожиданному поведению системы.

На рис. 3.19 и 4.7 мы уже показали, как быстро начинают расти объемы отходов и затраты энергии на добычу невозобновимых ресурсов при их истощении. На рис. 6.5 показана еще одна кривая роста расходов: предельные затраты на уменьшение выбросов оксида азота (на тонну). Чтобы предотвратить первые 50% выбросов, нужно относительно немного средств. Чтобы довести снижение загрязнения до 80%, расходы придется увеличить, но их уровень все еще будет приемлемым. Однако дальше мы сталкиваемся с пределом, пороговым значением, за которым расходы на дальнейшее уменьшение загрязнения становятся непомерными.



**Рис. 6.5.** Нелинейный рост расходов на очистку от загрязнений

Загрязнитель воздуха  $\text{NO}_x$  (оксиды азота) можно извлекать из выбросов по достаточно низкой цене до определенного значения, однако для высоких степеней очистки затраты начинают стремительно расти. Кривая предельных затрат на извлечение оксидов азота  $\text{NO}_x$  была рассчитана для Европейской организации экономического сотрудничества и развития и для бывших республик Советского Союза по данным 2001 г. в евро на тонну извлекаемых веществ. (Источник: J.R. Alcamo et al.)

Возможно, в будущем развитие технологий сдвинет обе кривые по оси вправо, сделав более высокую степень очистки доступной по цене. Может быть, другие технологии смогут полностью исключить выброс дымовых газов, но тогда вместо этого появится какой-то другой вид выброса, которому будет соответствовать другая кривая стоимости очистки. В любом случае качественный вид всех

таких кривых будет одинаков. Взлет расходов до астрономических высот по мере приближения к 100% очистке (т. е. к нулевому загрязнению) имеет очевидные физические причины. Рост количества дымовых труб на заводах и выхлопных труб на транспорте неизбежно ведет к увеличению затрат. Может быть, нам окажется по средствам уменьшить выбросы вдвое в расчете на каждый автомобиль. Но если автопарк при этом удвоится, то, чтобы поддержать прежнее качество воздуха, выбросы придется снизить еще в 2 раза. Двукратное уменьшение загрязнений вдвое — это очистка на 75%; трехкратное — на 87,5%.

В какой-то момент экономика уже не сможет вкладывать столько средств, чтобы добиться очередного увеличения степени очистки. Рост приведет экономику по нелинейной зависимости к точке, после которой дальнейшее увеличение степени очистки станет экономически невозможным — цена будет слишком высока. Здравомыслящее общество, достигнув этой точки, перестанет расширять соответствующую деятельность, поскольку это больше не приведет к увеличению благосостояния населения.

Третья причина того, что технологии и рынок сами по себе не могут решить проблемы мира, состоит в том, что их деятельность определяется циклами обратных связей, информация в которых подвержена запаздываниям и искажениям. Запаздывание откликов рынка и технологий может быть гораздо продолжительнее, чем того ожидают экономические теории или мысленные модели. Циклы обратных связей «рынок — технологии» сами по себе являются источником выхода за пределы, колебаний и нестабильности. Один из примеров такой нестабильности (причем нестабильности, отразившейся на всех странах земного шара) — колебания цен на нефть в течение нескольких десятилетий после кризиса 1973 г.

### **Пример несовершенства рыночной системы: колебания на нефтяном рынке**

Причин «нефтяного шока», случившегося в 1973 г., много, но основная из них — общемировая нехватка производственного капитала в секторе нефтедобычи (нефтяные скважины и оборудование) в сравнении с капиталом потребления нефти (автомобили, заводские печи и другое оборудование, использующее нефть в качестве топлива). В начале 1970-х гг. нефтяные скважины по всему миру работали практически на пределе мощности, на уровне свыше 90%. Именно поэтому случившийся на Ближнем Востоке политический переворот, который привел к прекращению всего лишь малой толики мировой добычи нефти, не удалось компенсировать увеличением в каком-либо другом регионе. Такое положение позволило ОПЕК, Орга-

низации стран — экспортеров нефти, повысить цены, что она тут же и сделала.

Этот ценовой скачок, а также еще один, последовавший в 1979 г. по тем же причинам (рис. 6.6), вызвал ряд экономических и технических откликов. В нефтедобывающей отрасли увеличились количество скважин и их пропускная способность, причем произошло это в регионах, неподконтрольных ОПЕК. Стали разрабатываться месторождения, которые раньше считались экономически невыгодными или слишком бедными. Геологическая разведка, вскрытие и разработка залежей, начиная от бурения новых скважин и заканчивая строительством нефтеперерабатывающих заводов и танкеров по перевозке нефти, потребовали времени.



**Рис. 6.6.** Использование производственных мощностей стран — участниц ОПЕК и мировые цены на нефть

Поскольку в 1970-х гг. производственные мощности ОПЕК были задействованы почти полностью, небольшие перебои в поставках нефти неожиданно привели к большому ценовым скачкам. За резким ростом цен последовали колебания, но произошло это лишь десятью годами позже. Колебания привели к экономической нестабильности по всему миру — она вызывалась как увеличением цен, так и их снижением. (Источник: EIA/DoE.)

Между тем покупатели ответили на рост цен более экономичным потреблением. Компании, использующие автомобильный парк, стали заказывать более экономичные марки машин. Люди устанавливали дополнительную теплоизоляцию домов, чтобы сэкономить на отоплении. Электрические компании остановили генераторы, рабо-

тающие на нефти, и перешли на угольные или атомные технологии. Правительство организовывало программы энергосбережения и продвигало разработку альтернативных источников энергии. Такие отклики тоже заняли годы. В конце концов это привело к долговременным изменениям в структуре мирового капитала.

Приверженцы рыночной экономики, судя по всему, верят, что рынок всегда реагирует мгновенно. Однако у мирового нефтяного рынка ушло на реакцию почти 10 лет, и лишь затем соотношение спроса и предложения стало понемногу стабилизироваться. В результате в мире установилось относительное равновесие на более низком уровне потребления при более высоких ценах. К 1983 г. мировое потребление нефти в сравнении с максимумом 1979 г. упало на 12%\*. Поскольку на тот момент капитал в нефтедобывающей отрасли стал слишком велик, ОПЕК пришлось принудительно ограничивать объемы добычи, уменьшив их примерно на 50%. Мировые цены на нефть поползли вниз, а затем в 1985 г. обрушились, и примерно до конца 1990-х гг. продолжали постепенно снижаться (имеются в виду эффективные долларовые цены).

Поскольку цены резко взлетели, падать им предстояло тоже резко. Коль скоро нефтедобывающие предприятия пришлось закрывать, а нефтедобычу принудительно ограничивать, то не было никакого смысла продвигать экономичные технологии, и их забросили. Проекты более экономичных автомобилей отложили в долгий ящик. Инвестиции в альтернативные источники энергии иссякли. Этим тенденциям удалось набрать такую силу, что создались условия для очередной потери равновесия и следующего ценового скачка. Может быть, сегодняшние высокие цены на нефть — это как раз и есть следующий скачок. Он набрал силу после смены тысячелетий.

Подобные выходы за пределы и возвращение обратно в рамки пределов — неизбежные последствия от запаздывания на нефтяном рынке. Они вызывают перемещение по миру огромных капиталов, появление колоссальных долгов и сверхприбылей, быстрые подъемы и спады, банкротства, банковские кризисы... И все это — результат попыток привести в соответствие относительные объемы капитала добывающей отрасли и капитала, обеспечивающего потребление нефти. Ни один из этих скачков цены на нефть не был связан с истощением ее запасов на планете — оно еще не наступило. Количество нефти под землей постепенно уменьшается, поскольку ее продолжают добывать, но этот процесс стабилен и резких скачков не дает. Не были они связаны и с последствиями нефтедобычи для

\*

См. данные: *Brown L. et al. Vital Signs 2000. New York: W. W. Norton, 2000. С. 53.*

окружающей среды — бурением, транспортировкой, переработкой и сжиганием. Ценовой сигнал на рынке в основном свидетельствовал о временном недостатке или переизбытке уже добытой нефти.

По многим причинам сигналы нефтяного рынка до сих пор не позволили миру определить, где находятся физические пределы использования этого вида ресурса. Правительства стран-производителей стремятся увеличить цены. При этом они могут намеренно искажать информацию о запасах, завышая их, чтобы получить большую квоту на добычу. Правительства стран-потребителей стремятся удерживать цены на возможно низком уровне. Они могут искажать информацию о запасах, переоценивая их, чтобы уменьшить влияние отдельных производителей нефти. Колебания цен могут увеличиваться из-за спекуляций. И нужно помнить, что уже добытая, готовая к потреблению нефть гораздо больше влияет на цены, чем нефть, которая еще находится в недрах земли и будет добыта в будущем. В долговременной перспективе рынок слеп — он не обращает внимания на конечные источники и стоки, пока не подойдет к пределу вплотную, а тогда принимать решения будет уже поздно.

Сигналы от экономики и отклики от технологий могут приводить к серьезным последствиям, и нефтяной пример хорошо это иллюстрирует, вот только к глобальной системе они не имеют прямого отношения — только косвенное — и потому не могут дать обществу никакой информации о физических пределах.

Под конец мы еще хотим напомнить о *целях*, для достижения которых используются технологии и рыночная экономика. И то и другое — лишь инструменты. Им не присущи мудрость, предусмотрительность, умеренность, сочувствие или сострадание — во всяком случае, не больше, чем бюрократическим системам, которые люди создают для использования технологий и экономики. Результаты, которые дают миру технологии и рынок, зависят от того, кто и для чего их использует. Если их применяют для поддержания несправедливости, неравенства, насилия, то так оно и будет. Если они используются для достижения заведомо невозможных целей, вроде постоянного физического роста на конечной планете, то в конце концов они перестанут работать. Если с их помощью пытаются достичь достойных целей и самоподдержания, то они могут принести конкретную пользу. И в следующей главе мы покажем, как это может происходить.

Регулируемые технологии и рыночная экономика, если их применять для достижения общих целей в долговременной перспективе, принесут миру огромную пользу. Когда мир решил обойтись без хлорфторуглеродов, технология через несколько десятилетий

позволила воплотить это решение в жизнь. Мы не думаем, что можно создать устойчивое, обеспеченное, справедливое общество без технического творчества, изобретательности, предпринимательства и относительно свободного рынка. Но мы также не думаем, что их будет для этого достаточно. Чтобы сделать наш мир устойчивым, понадобятся и другие способности и качества человека. Без них технический прогресс и рынок будут только мешать переходу к самоподдержанию и ускорять истощение важных ресурсов. Именно это произошло с океанским рыболовным промыслом.

### **Технологии, рынок и разрушение рыболовецкой отрасли**

Помню, я вылавливал 5000 фунтов рыбы восемью сетями.

Теперь для этого нужно ставить 80 сетей. Раньше треска средней величины, выловленная весной, весила от 25 до 40 фунтов.

Сейчас — только 5–8.

*Рыбак, ведущий промысел в районе Джорджес-Банк (северо-западная часть Атлантического океана), 1988 г.*

Вас интересует треска? Так я вам скажу: все, нет ее больше.

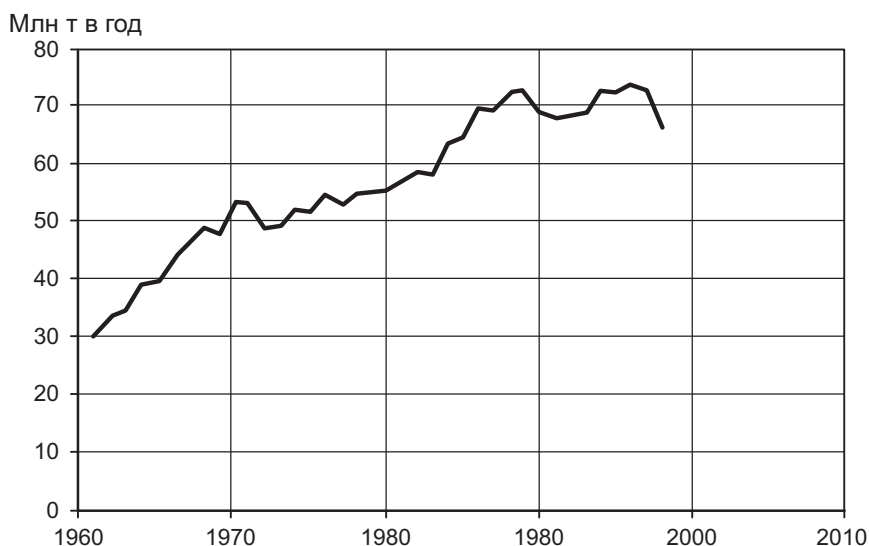
*Канадский рыбак Дэйв Моллой, 1997 г.*

Современная история мирового рыболовного промысла — иллюстрация к тому, как технология и рынок могут неадекватно реагировать на приближение к пределам. В случае с мировой рыболовецкой отраслью свою роль сыграло привычное сочетание: отрицание пределов; усилия, направленные на сохранение прежних объемов вылова; изгнание иностранных рыболовных судов; субсидии местным рыбакам; а также нерешительные социальные меры. В некоторых случаях — как произошло с зонами лова трески у восточного побережья Канады — социальные меры были приняты слишком поздно, и ресурс спасти не удалось.

Попытки регулировать работу отрасли постепенно охватили все основные зоны лова. Эра «открытых морей» закончилась. Пределы стали очевидны и приобрели для мирового рыболовства решающее значение. Истощение ресурса и принятие ограничительных мер привели к тому, что мировой вылов рыбы в открытом море перестал расти. В 1990-е гг. мировой улов морской рыбы колебался на уровне 80 млн т в год\* (рис. 6.7). Только через много лет можно будет точно сказать, был ли тот уровень устойчивым или это послужило началом катастрофы. В начале 1990-х гг. FAO, Продовольственная

\*

См. данные: Brown et al. Vital Signs 2000. С. 41.



**Рис. 6.7.** Мировой улов рыбы в открытом море

Суммарный мировой вылов рыбы в открытом море значительно вырос в период с 1960 по 1990 г. Однако в последнее десятилетие XX в. суммарный улов перестал расти. (Источник: FAO.)

и сельскохозяйственная организация ООН, дала оценку: Мировой океан не в состоянии обеспечить устойчивый улов на уровне более 100 млн т в год, если применять обычные методы. А ведь это больше, чем вылавливалось в 1990-е гг.

Неудивительно, что в этот период значительно возросло разведение рыбы на рыбных фермах. В 1990 г. такие фермы давали только 13 млн т рыбы в год, сейчас — уже 40 млн. В настоящее время треть всей потребляемой в мире рыбы выращена на фермах. Казалось бы, это счастливый пример эффективности рынка и технологий. Разве расширение рыбных ферм не доказывает способность технологий и рынка решать все проблемы? На самом деле нет, и тому есть три причины. Ловля рыбы раньше была только источником продовольствия, а теперь отрасль превращается в сток, потому что эту рыбу надо чем-то кормить. Рыба и другие морские формы жизни раньше составляли рацион питания бедняков, теперь же они попадают на стол все больше к богатым. Рыбные косяки в дикой природе составляют органичную часть среды, они экологически нейтральны, в то время как рыбные фермы наносят среде ощутимый вред.

Во-первых, океанские рыбные «пастбища» — истинный источник продовольствия для человечества. Рыба «нагуливает» вес, пи-



таясь растительной пищей, и приобретает отличный вкус. Рыбные фермы — это не чистый источник продовольствия, он скорее преобразует один вид продовольствия в другой, и потери на каждой стадии неизбежны. Как правило, выращенную на ферме рыбу откармливают зерном или специальным кормом, приготовленным тоже из рыбы. Во-вторых, рыба раньше была важным источником продовольствия для бедных людей, она была доступна в местном масштабе, либо с минимальными финансовыми затратами, либо вообще без них. Артели, работающие вместе неполный рабочий день, могли с помощью несложных приспособлений добыть достаточно продовольствия для собственного потребления. Рыбные фермы, напротив, нацелены на обслуживание рынка с получением высоких прибылей. Выращенные на ферме лосось и креветки идут на стол к богатым людям, а не беднякам. Вдобавок, проблему усугубляет разрушение прибрежных зон лова. Многие местные запасы уничтожаются, а цены на оставшиеся начинают расти, поскольку продукция уходит к удаленным потребителям, на другие рынки. В результате рыба все меньше доступна бедным слоям населения. В-третьих, разведение на фермах рыбы, креветок и других водных форм жизни создает большую нагрузку на окружающую среду. Рыбным фермам сопутствуют такие негативные явления, как попадание выращиваемых видов в окружающую среду, где их раньше не было; просачивание отходов и антибиотиков в морские воды; распространение вирусов; разрушение прибрежных заболоченных территорий и т. д. Все эти последствия неслучайны — это результат работы рыночных принципов. И раз такие последствия никак не влияют на рыночные цены на рыбу или на доходы, то все так и будет продолжаться.

По оценкам ФАО, в 2002 г. примерно в 75% океанских рыболовных зон в мире объемы вылова были на пределе самоподдержания или превышали его\*. В 9 из 19 мировых рыболовных зон объемы вылова превышали нижний предел, предположительно обеспечивающий самоподдержание рыбной популяции.

Несколько заметных событий, произошедших не так давно, иллюстрируют серьезные проблемы, которые испытывает мировая рыболовецкая отрасль. Как мы уже говорили, в 1992 г. правительство Канады запретило весь восточный прибрежный промысел, включая ловлю трески. Он оставался под запретом и в 2003 г., поскольку запасы рыбы еще не восстановились. В 1994 г. улов лосося в западной

---

\* См. материалы: United Nations Food and Agriculture Organization, «The State of World Fisheries and Aquaculture 2002», [www.fao.org/docrep/005/y7300e/y7300e00.htm](http://www.fao.org/docrep/005/y7300e/y7300e00.htm).

прибрежной зоне США был резко сокращен\*. В 2002 г. четыре прикаспийских государства, наконец, договорились о мерах по защите осетровых рыб, дающих знаменитую черную икру, но только после того, как годовой улов упал с 22 000 т в 1970 г. до 1000 т в конце 1990-х гг.\*\* Популяции голубого тунца, особи которого обычно живут по 30 лет и набирают вес до 700 кг, за двадцать лет с 1970 по 1990 г. сократились на 94%. Суммарный улов рыбы в норвежских территориальных водах поддерживается на прежнем уровне только за счет того, что начался вылов менее ценных пород рыбы, в то время как лов более ценных видов прекращен.

Вместе с тем десятилетний мораторий на вылов позволил восстановить в норвежских водах популяции сельди и трески, подтверждая тем самым, что негативные тенденции можно преодолеть, если вести правильную государственную политику. Это служит примером для Европейского союза, который пытается ограничить размеры своего рыболовецкого флота. Рыболовные суда Евросоюза все больше смещаются из европейских территориальных вод в зоны лова относительно бедных развивающихся стран, отбирая рабочие места и источник продовольствия у местного населения. Нет никаких сомнений в том, что мировая рыболовецкая отрасль вплотную подошла к глобальным пределам.

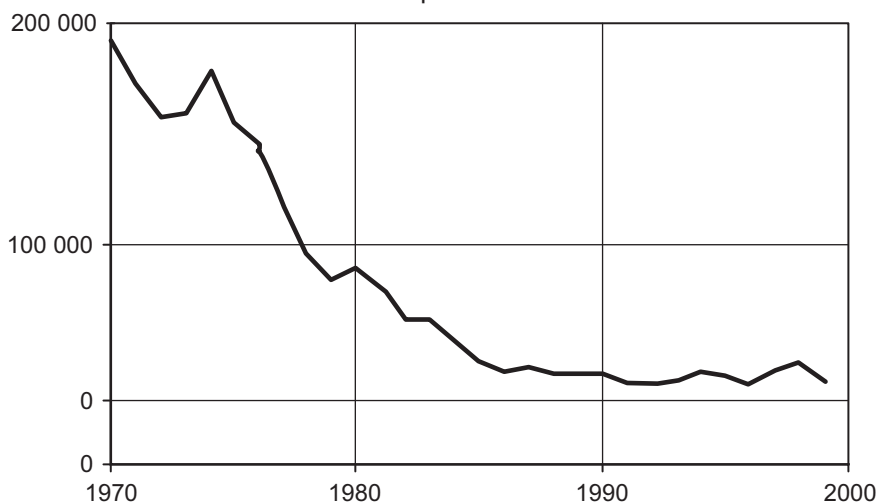
В то время как примерно до 1990 г. мировая рыболовецкая отрасль наслаждалась свободой и кажущейся стабильностью рынка, в промышленности происходил необыкновенный прорыв в технологиях. Рыболовецкие суда с холодильными установками на борту (рефрижераторные сейнеры-траулеры) позволяли постоянно держать флот в зонах лова, а не возвращать его в порт с ежедневной добычей. Радарные установки, гидролокаторы и системы слежения со спутника приводят суда к скоплениям рыбы с беспощадной эффективностью. Дрифтерные сети длиной до 50 км позволяют даже в глубоководной зоне вести лов с высокой прибылью. В результате вылов рыбы выходит за пределы устойчивости в большинстве зон. Вместо того чтобы защищать рыбные ресурсы и увеличивать запасы рыбы, применяемые человеком технологии стремятся выловить всю рыбу до последней (рис. 6.8).

Большинство людей интуитивно понимают, что рыбные ресурсы эксплуатируются чрезмерно, но рынок не дает обратной связи, которая скорректировала бы эти тенденции и обузда деятельность

\* См. данные: *Brown L.* Eco-Economy. New York: W. W. Norton, 2001. С. 51–55.

\*\* Данные взяты из источника: World Wide Fund for Nature Endangered Seas Campaign, 2003, [www.panda.org/campaigns/marine/sturgeon](http://www.panda.org/campaigns/marine/sturgeon).

Количество особей от 8 лет и старше

**Рис. 6.8.** Уменьшение популяции голубого тунца

За последние 30 лет популяция приходящего на нерест голубого тунца в западной Атлантике (особи старше 8 лет) уменьшилась на 80%. Поскольку этот вид рыбы имеет большую ценность, ее промысел продолжается. (Источник: ICCAT.)

морских рыболовных компаний. Наоборот, рынок активно поощряет тех, кто всех опередил и наловил больше\*. Если рынок даст сигнал об истощении ресурсов, т. е. если цена на рыбу повысится, то богатые люди смогут ее заплатить. В Токио в начале 1990-х гг. цена на голубого тунца на рынке суши достигала 100 долларов за фунт\*\*. В Стокгольме в 2002 г. цена на треску — обычный продукт питания для беднейших слоев населения — достигла немыслимого уровня в 80 долларов за фунт\*\*\*. В результате такие высокие цены только стимулируют продолжение лова, и чем больше истощается рыбная популяция, тем больше становится этот стимул. Но одновременно рост цены замедляет рост спроса и смещает его: рыбу теперь потребляют те, кто в состоянии за нее заплатить, и это очень печально для той части населения, в чьем рационе она была основной составляющей.

\* Пол Эрлих услышал это от японского журналиста: *Ehrlich P. Animal Extinctions: What Everyone Should Know* / ed. by R. J. Hoage. Washington, DC: Smithsonian Institution Press, 1985. С. 163.

\*\* См.: *Audubon* (September-October 1991). С. 34.

\*\*\* Источник: *Dagens Naeringsliv* (норвежский журнал по бизнесу). Oslo. December 9, 2002. С. 10.

Игроки на рынке, энергично уничтожающие ресурсы, убийственно рациональны. То, чем они заняты, имеет смысл, поскольку поощряется обществом. Больше того: существующая система вынуждает игроков к такому поведению. Вина лежит не на отдельных людях, а на *системе* в целом. Нерегулируемая рыночная система, управляющая общим ресурсом, скорость восстановления которого невелика, неизбежно придет к выходу за пределы и к разрушению ресурса. Это явление широко распространено и известно под названием «трагедия общин» (или «трагедия ресурсов общего пользования»).

---

«Вы думаете, китобойная промышленность заинтересована в поддержании поголовья китов? На самом деле лучше рассматривать ее как огромное количество [финансового] капитала, который пытается получить наибольшую прибыль за наименьшее время. Если китов можно истребить за 10 лет и получать при этом прибыль в 15%, либо поддерживать их поголовье и получать при этом прибыль в 10%, значит, киты исчезнут через 10 лет. А денежные средства после этого направят на уничтожение каких-нибудь других видов ресурсов»\*.

---

Защитить ресурс могут только политические меры определенного типа, а их принять нелегко. И не факт, что эти меры будут работать эффективно. Недавние исследования показали, что чрезмерная эксплуатация может проявляться и при частной собственности на возобновимые ресурсы, когда «трагедия общин» явно ни при чем\*\*. Выход за пределы наступает просто из-за того, что информация о состоянии ресурсной базы — например, оценка запасов, объемы вылова, скорость роста — неточна или искажена, а может, просто отличается от традиционного представления и не вписывается в привычные методы принятия решений. Обычный результат в этом случае — избыточное накопление капитала в заготовительной отрасли и чрезмерная эксплуатация ресурса.

Традиционные рыночные принципы и технологии поставили мировую рыболовецкую отрасль на грань краха. Даже если этих принципов и технологий станет больше, они не помогут оздоровить систему. Они работают без оглядки на физические рамки, и потому ведут к

---

\* Классический анализ этого явления приводится в известной работе: *Hardin G. The Tragedy of the Commons* // *Science*. 1968. 162. С. 1243–1248.

\*\* См. работу: *Moxness E. Not Only the Tragedy of the Commons: Misperceptions of Feedback and Policies for Sustainable Development* // *System Dynamics Review*. 2000. 16. № 4. С. 325–348.

выходу за пределы. Если же их будут использовать с учетом пределов, под присмотром регулирующих организаций, тогда рыночные силы и технический прогресс могли бы обеспечить мировой рыболовецкой отрасли постоянно высокий улов на протяжении жизни многих поколений.

## Выводы

Экспоненциальный рост численности населения, капитала, использования ресурсов и уровня загрязнения на планете продолжается. Его двигают вперед попытки разрешить самые острые проблемы человечества, от безработицы и нищеты до потребности в социальном статусе, признании и самореализации.

Экспоненциальный рост может быстро выйти за любой постоянный предел. Если с одним пределом удастся справиться, то экспоненциальный рост вскоре натолкнется на следующий.

Из-за запаздываний в получении отклика от пределов и информации за счет обратных связей мировая экономическая система стремится выйти за рамки самоподдержания. На самом деле для многих источников и стоков, имеющих большое значение для мировой экономики, выход за пределы уже произошел.

Технологии и рыночные принципы работают с запаздыванием и в условиях недостатка информации, поэтому они только усиливают стремление экономики к выходу за пределы. К тому же они обычно ориентируются на удовлетворение нужд самой сильной части общества. Если основная цель — рост, то технологии и рынок генерируют рост непрерывно, столько, сколько смогут. Если бы основными целями были справедливость и самоподдержание, то они могли бы служить именно этим целям.

Если численность населения и экономика вышли за физические пределы планеты, то возможны только два пути: либо неизбежная катастрофа (вызванная нехваткой тех или иных ресурсов и чередой кризисов), либо контролируемое уменьшение экологического следа человечества в результате осознанного выбора общества.

В следующей главе мы расскажем о том, что произойдет, если технические усовершенствования будут сопровождаться осознанными действиями общества по ограничению роста.

## Переход к устойчивой системе

---

Устойчивое состояние потребует меньшего потребления природных ресурсов, но гораздо более высоких моральных качеств.

*Герман Дейли, 1971 г.*

На сигналы о том, что потребление ресурсов и выбросы загрязнений вышли за пределы устойчивости, человечество может отреагировать тремя способами. Первый из них — отрицать или искажать сигналы, и это может принимать самые разные формы. Одни люди заявляют, что по поводу пределов не надо беспокоиться вовсе — рынок и технологии автоматически решат любые проблемы. Другие говорят, что никаких попыток уменьшить выход за пределы предпринимать не надо до тех пор, пока не будет проведено подробное дополнительное исследование. Третьи тем временем пытаются переложить последствия собственного выхода за пределы на кого-нибудь другого, кто находится дальше в пространстве или во времени. Например, можно делать так:

- строить более высокие дымовые трубы, чтобы загрязнение воздуха распространялось на более отдаленные территории, где дымом будет дышать кто-нибудь другой;
- отправлять токсичные химикаты или ядерные отходы для захоронения в какой-нибудь далекий регион или страну;
- вылавливать слишком много рыбы или рубить слишком много леса, заявляя, что это необходимо ради сохранения рабочих мест или чтобы расплатиться с долгами, хотя при этом подрывается само существование природных запасов, от которых зависят эти рабочие места и уплата долгов;
- субсидировать добывающие отрасли, несмотря на то, что добываемые ими ресурсы истощаются;

- разведывать новые месторождения и искать новые ресурсы, хотя уже имеющиеся запасы расходуются неэффективно;
- компенсировать снижение продуктивности земель за счет более широкого использования химических удобрений;
- удерживать цены за счет правительственных указов и субсидий, чтобы они не могли расти в ответ на истощение ресурса;
- использовать военную силу или угрожать ее применением, чтобы обеспечить себе доступ к ресурсам, за которые в противном случае пришлось бы дорого платить.

Такие действия не только не помогут решить проблемы, появляющиеся из-за чрезмерной нагрузки на окружающую среду, но сделают ситуацию еще хуже.

Второй путь — смягчить давление пределов за счет продуманных экономических или технических мер, например:

- ограничивать количество загрязнений в расчете на километр движения транспорта или на киловатт вырабатываемой электроэнергии;
- использовать ресурсы более эффективно, перерабатывать и использовать их повторно, вместо невозобновимых источников задействовать возобновимые;
- дублировать функции окружающей среды — например, перерабатывать сточные воды, бороться с наводнениями, контролировать плодородие почв, затрачивая на это силы, время и деньги.

Эти меры имеют огромное значение. Многие из них обеспечивают более высокую экологическую эффективность и отодвигают наступление пределов, позволяя выгадать время. Однако они не устраняют причины проблем. Если километр транспортировки груза создает меньше загрязнения, но самих этих километров больше, или если сточные воды обрабатываются до более высокой степени очистки, но их объемы возрастают, то проблемы только откладываются на более позднее время, но не решаются.

Третий путь — разобраться в причинах возникновения проблем, сделать шаг назад и признать, что социально-экономическая система человечества с ее теперешней структурой неуправляема, выходит за пределы, стремится к катастрофе, и что поэтому *структуру системы необходимо изменить*.

В словосочетании «изменить структуру» для многих кроется зловещий подтекст. Такие обороты очень любили применять революционеры, когда имели в виду устранение правящих слоев от власти, причем иногда кровопролитным путем. Некоторые люди воспринимают это словосочетание как изменение *физической* структуры:

сначала разрушить до основания старое, а затем на его месте построить новое. Или же они могут иметь в виду изменение структуры власти, иерархии, цепи инстанций. Учитывая такой смысловой подтекст, для тех, кто наделен экономической или политической властью, изменение структуры может казаться делом не просто очень сложным, но еще и опасным, угрожающим их положению.

А вот в системном языке *изменение структуры* не имеет ничего общего со свержением власти, разрушением устоев или административных образований. На самом деле, если выполнить любое из этих действий без *реальных* изменений в структуре, то это приведет лишь к тому, что уже другие люди будут тратить столько же или даже больше времени и денег, чтобы достичь тех же целей, что и раньше, — уже в новых организациях или образованиях, но с получением прежних результатов.

Говоря системным языком, изменение структуры означает изменение *структуры обратных связей, информационных потоков* в системе: содержания и своевременности поступления данных, с которыми работают элементы системы; целей, идей, стимулов, затрат, факторов, поощряющих определенное поведение или препятствующих ему. Те же самые сочетания людей, организаций и физических структур могут вести себя совершенно иначе, если элементы системы, ее действующие лица, будут иметь для этого возможность и побудительные причины, пусть даже в виде поощрения извне. Со временем система, информационная структура которой изменилась, изменит также свою физическую и социальную структуру. Могут быть приняты новые законы, созданы новые организации, разработаны новые технологии, люди приобретут новые навыки, будут располагать новым оборудованием и зданиями. Такие преобразования не обязательно должны управляться из единого центра; они могут носить не спланированный, а естественный характер — своего рода эволюция, приносящая радость и дающая веру в лучшее будущее.

Волна изменений под влиянием новых информационных структур распространяется сама собой, словно круги по воде. Изменения вовсе не требуют жертв или принуждения силой, за исключением, возможно, тех случаев, когда лица, преследующие личные интересы, намеренно утаивают, искажают или ограничивают важную информацию. В истории человечества было несколько важнейших структурных преобразований. Самыми серьезными из них были сельскохозяйственная и промышленная революции. Обе были основаны на новых идеях о том, как можно получать продовольствие, использовать энергию и организовывать труд. На самом деле все, что будет описано в следующей главе, — это простое следствие прош-



лых успешных преобразований, но сейчас они привели к необходимости следующего преобразования — мы называем его переходом к устойчивому развитию.

Модель *World3* невозможно заставить отобразить собственную эволюцию и изменение собственной структуры. Зато ее можно использовать, чтобы проверить некоторые изменения, которые могут произойти, если общество решит вернуться в пределы устойчивости и поставит себе более достойные и разумные цели, чем постоянный материальный рост.

В предыдущих главах мы использовали модель *World3* для того, чтобы посмотреть, как мир отреагирует на *численные* (не структурные) изменения. Мы задавали модели более высокие пределы, делали запаздывания меньше, усиливали и ускоряли факторы технического прогресса, ослабляли разрушительные циклы обратных связей. Если исключить все структурные ограничения — пределы, запаздывания, циклы разрушения, — можно полностью избежать выхода за пределы и наступления катастрофы (как показано в сценарии 0 «Бесконечность на входе, бесконечность на выходе»). Но пределы, запаздывания и процессы разрушения — это физические свойства планеты. Люди могут пытаться их ослабить или усилить, воздействовать на них с помощью технологий, приспосабливаться к ним, меняя стиль жизни, но отменить законы природы не в силах никто.

Именно структурные причины выхода за пределы (с которыми люди вполне могут совладать и которые мы не меняли в главе 6) ответственны за положительные обратные связи, генерирующие экспоненциальный рост численности населения и физического капитала. Это социальные нормы, ожидания, цели, побудительные мотивы, стимулы и затраты, заставляющие людей желать большего, чем простого воспроизводства себе подобных. Это глубоко заложенные в человеческое общество вера и традиции, заставляющие тратить природные ресурсы расточительнее, чем деньги; распределять доходы и блага несправедливо; видеть себя в первую очередь в качестве потребителей и производителей; связывать положение в обществе с накоплением материальных или финансовых благ; ставить себе целью «взять как можно больше», а не «дать больше» или «иметь достаточно».

В этой главе мы изменим циклы положительных обратных связей, вызывающие экспоненциальный рост в мировой системе. Мы проанализируем, как из выхода за пределы можно вернуться к устойчивости. Для этого нужно посмотреть на систему с другой точки зрения, сосредотачиваясь не на технологиях, которые могли бы отсрочить наступление пределов, а на том, какие цели и ожидания

вызывают рост. Мы начнем с изменения *только этих* положительных связей, не внося изменений в параметры, которые проверяли в предыдущей главе, а затем изменим в системе одновременно и то и другое.

## Осознанное ограничение роста

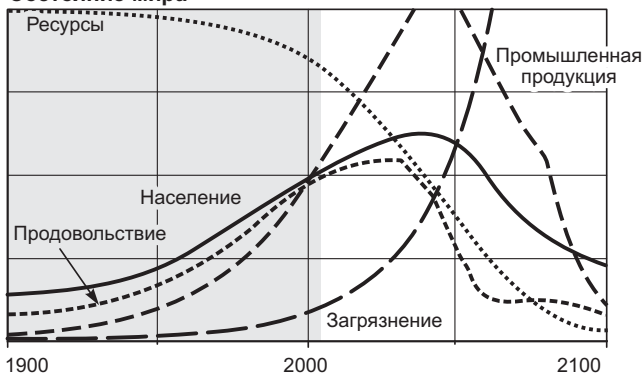
Предположим, что начиная с 2002 г. все семейные пары в мире осознают, что дальнейший рост численности населения неблагоприятно отразится на уровне жизни их собственных детей. Предположим, что все люди получают от общества гарантии признания, уважения, материального благополучия, обеспеченной жизни в старости, независимо от того, сколько в семье детей. Предположим также, что в обществе будет принято растить каждого ребенка, обеспечивая ему правильное питание, достойное жилье, здравоохранение и образование. Предположим, что в результате всех этих мер все семейные пары решили ограничиться в среднем двумя детьми (имеются в виду выжившие дети), и что всем парам будут доступны методы контроля над рождаемостью, которые позволяют обеспечить желаемый размер семьи.

Такие преобразования в обществе повлекли бы за собой изменения во взглядах людей на затраты и возможные выгоды от того, сколько в семье детей. Расширились бы временные горизонты, появилось понимание того, как количество детей отражается на уровне благосостояния самой семьи и других людей. Изменились бы представления об ответственности, сознательном выборе, новых возможностях... По сути, это было бы изменение структуры системы, эквивалентное, хотя и не в точности, демографическому переходу и снижению рождаемости (которые в развитых странах уже давно состоялись), только в масштабах всего мира. Это не волшебная переменная — вдруг, ни с того, ни с сего, — а сознательное изменение поведения, выбор таких же семейных предпочтений, которых уже давно придерживается более миллиарда человек в промышленно развитых странах.

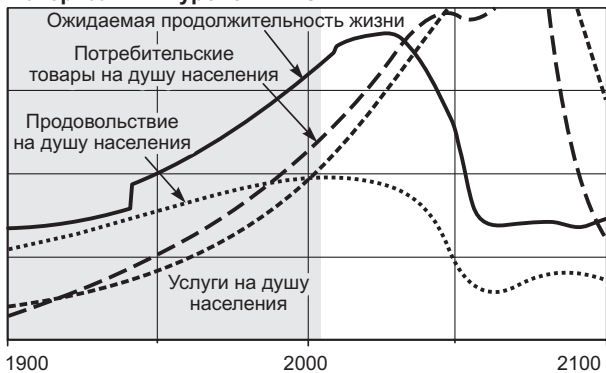
Если в модель *World3* внести только это изменение и никаких других, то будут получены результаты, показанные на рис. 7.1, в сценарии 7.

Чтобы получить этот сценарий, мы с 2002 расчетного года задали желаемый размер семьи при расчете численности населения (двое детей) и заложили в модель 100% эффективность контроля над рождаемостью. В результате рост численности населения мира в модели замедлился, но инерция из-за возрастной структуры привела к тому,

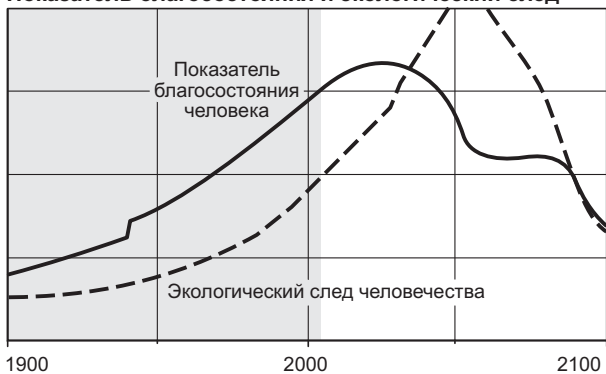
### Состояние мира



### Материальный уровень жизни



### Показатель благосостояния и экологический след



**Рис. 7.1.** Сценарий 7: мир с 2002 г. принимает меры по стабилизации численности населения

В этом сценарии предполагается, что после 2002 г. все семейные пары решают ограничиться двумя детьми, при этом они имеют доступ к эффективным технологиям ограничения рождаемости. Из-за инерции, заложенной в возрастной структуре населения, численность продолжает расти в течение еще одного поколения. Однако более медленный рост численности населения позволяет быстрее расширяться промышленному производству, пока его рост не останавливается из-за возросшего загрязнения, как было в сценарии 2.

что численность увеличивалась вплоть до 2040 г., достигнув значения в 7,5 млрд человек (на полмиллиарда меньше, чем в сценарии 2). Таким образом, эффективная политика ограничения рождаемости во всем мире двумя детьми в семье, введенная с 2002 г., позволяет снизить пик численности всего на 10% и даже чуть меньше. Этому есть простое объяснение. Дело в том, что даже если бы такая политика не проводилась, в мире все равно после смены тысячелетий постепенно становится предпочтительным маленький размер семьи, а эффективность контроля над рождаемостью действительно приближается к 100%.

В уменьшении максимальной численности населения есть плюсы. Поскольку рост численности замедлился, многие параметры становятся выше, чем в сценарии 2: производство потребительских товаров и продовольствия на душу населения, ожидаемая продолжительность жизни. В тот момент, когда численность достигает максимума — 2040 расчетный год, — душевое производство потребительских товаров выше на 10%, продовольствия — на 20%, а продолжительность жизни — почти на 10% выше, чем в сценарии 2. Так происходит потому, что для поддержки меньшего населения нужно меньше инвестиций в производство потребительских товаров и в сектор услуг, что позволяет направить больше средств на расширение промышленного капитала. В результате производство промышленной продукции растет быстрее и достигает более высоких значений, чем в сценарии 2. К 2040 г. производство промышленной продукции на душу в сравнении с уровнем 2000 г. возрастает вдвое. Население в модели существенно богаче, чем в начале века, а период с 2010 по 2030 г. можно с полным на то основанием назвать «золотым веком» — высокий уровень благосостояния для большой численности населения.

Тем не менее производство промышленной продукции в 2040 г. достигает пика и затем идет на спад, причем примерно с такой же скоростью, что и в сценарии 2, и по тем же самым причинам. Большой промышленный капитал производит больше загрязнений, что отрицательно влияет на сельскохозяйственное производство. Приходится направлять капитал в аграрный сектор, отвлекая его от других сфер деятельности, чтобы поддержать производство продовольствия. Несколько позже, в 2050 расчетном году, уровень загрязнения становится настолько высоким, что сказывается на здоровье людей, и ожидаемая продолжительность жизни уменьшается. В итоге модель мира переживает «кризис загрязнения», при котором высокие уровни загрязнения отравляют земли, что неизбежно приводит к нехватке продовольствия для людей.

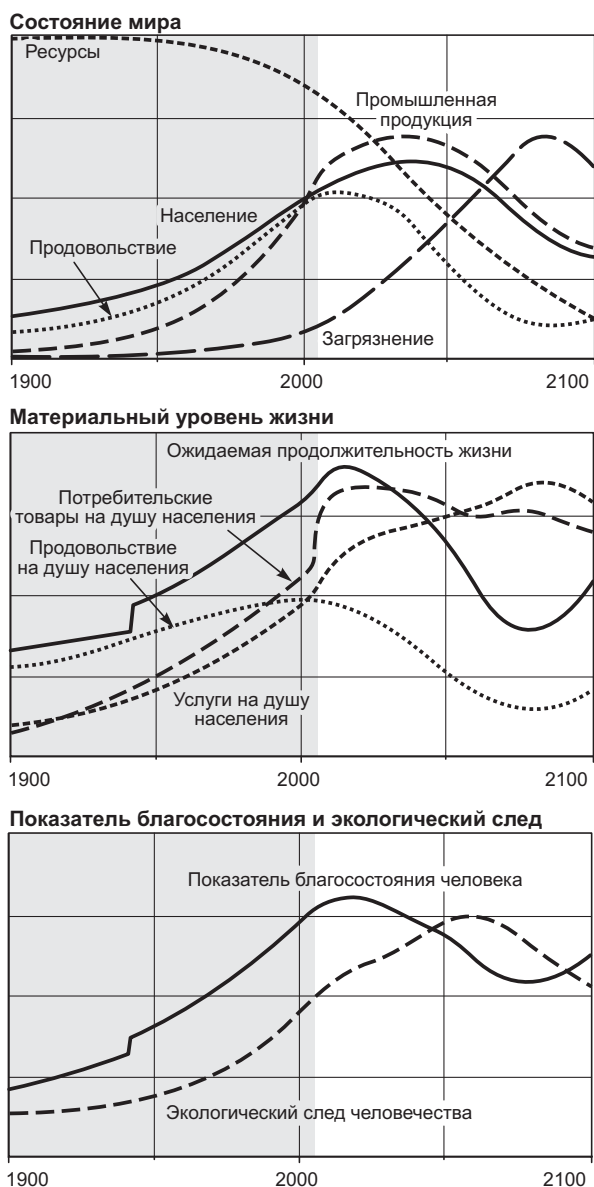
Получается, что при наличии пределов и технологий, заданных в сценарии 7, и при отсутствии ограничений в материальном потреблении мир не в состоянии поддержать население даже в 7,5 млрд человек. Избежать катастрофы за счет стабилизации только численности населения невозможно. Продолжающийся рост капитала так же неустойчив, как и рост населения. Каждый из этих факторов, если их не ограничивать, может привести к такому увеличению экологического следа, что он превысит самоподдерживающую емкость планеты.

Но что произойдет, если мировое население решит ограничить не только количество детей в семье, но и материальное потребление? Что будет, если люди поставят себе целью достичь жизненных стандартов, не подразумевающих излишества? Такое гипотетическое изменение в структуре не так четко прослеживается в современном мире, как ограничение количества детей в семье, однако это нельзя назвать чем-то немислимым — тому уже есть примеры\*. Стремление к умеренности можно увидеть практически в любой религии мира. Это изменение не на физическом или политическом уровне, а в головах и сердцах людей. Меняются цели деятельности, понимание смысла жизни. Добиться таких изменений — значит установить новую систему ценностей: довольствоваться тем, что имеешь, перестать бесконечно стремиться наращивать производство и накапливать материальные блага.

В сценарии 8, показанном на рис. 7.2, в смоделированном мире каждая семья точно так же предпочитает иметь двух детей, технологии планирования семьи точно так же эффективны, но появляется и новое понятие *достаточности*. Мир решил, что количество промышленной продукции на душу населения *для каждого жителя* планеты будет вполне достаточным, если на 10% превысит среднее значение, характерное для 2000 г. На практике это означает огромный шаг вперед для бедных стран мира и довольно серьезное изменение в привычках потребления для богатых стран. Смоделированный мир заодно решил, что обеспечит такой уровень производства за счет меньших инвестиций, и отдал предпочтение капитальному оборудованию, которое служит на 25% дольше обычного. Тогда средний срок жизни промышленного капитала возрастет с 14 до 18 лет, капитала сферы услуг — с 20 до 25 лет, а потоков, направляемых в сельскохозяйственный сектор, — с 2 до 2,5 лет.

\*

См. книгу: *Elgin D. Voluntary Simplicity*. New York: Quill, 1998; а также: *Dominguez J., Robin V. Your Money or Your Life: Transforming Your Relationship with Money and Achieving Financial Independence*. New York: Penguin USA, 1999.



**Рис. 7.2.** Сценарий 8: мир с 2002 г. стремится к стабильной численности населения и устойчивому объему производства на душу населения

Если в смоделированном обществе семья желает иметь двух детей и довольствуется фиксированным количеством промышленной продукции на душу населения, то «золотой период» относительно высокого благосостояния человека удастся продлить в сравнении со сценарием 7, где он начался в 2020 и закончился в 2040 расчетном году. Однако загрязнение все сильнее сказывается на сельскохозяйственных ресурсах. Производство продовольствия на душу населения уменьшается, приводя в какой-то момент к снижению ожидаемой продолжительности жизни и уменьшению численности населения.

Результаты моделирования показывают, что такие изменения вызывают существенный рост производства потребительских товаров и услуг на душу населения в первое же десятилетие после 2002 г. Эти показатели растут быстрее и достигают более высоких значений, чем в предыдущем сценарии, где промышленный рост не ограничивался. Так происходит потому, что для инвестирования в промышленный рост теперь требуется меньше капитала. К тому же и на амортизацию будет уходить меньше капитала, поскольку его срок жизни возрос. Из-за этого на производство потребительских товаров сразу же направляется больший капитал. В результате за три десятилетия с 2010 по 2040 г. такое гипотетическое общество достигает достойного (хотя и без роскошества) материального уровня жизни *для каждого жителя планеты*.

Однако экономика такого общества не очень стабильна. Экологический след человечества превышает уровень устойчивости, поэтому экономика после 2040 г. переживает продолжительный спад. В сценарии 8 миру удастся поддерживать население численностью более 7 млрд человек, при этом уровень жизни на протяжении 30 лет, с 2010 по 2040 г., был вполне достойным. Производство потребительских товаров и услуг на душу населения в сравнении с уровнем 2000 г. возрастает примерно на 50%. Суммарное производство продовольствия достигает максимума примерно к 2010 г., однако затем неуклонно снижается из-за сильного загрязнения окружающей среды, которое к тому же продолжает увеличиваться многие десятилетия. Чтобы замедлить снижение производства продовольствия, в сельское хозяйство направляется все больше и больше инвестиций. Некоторое время капитала для этого достаточно, поскольку его не приходится направлять в промышленность для достижения большего роста. Но постепенно потребности в нем становятся такими большими, что промышленное производство с этим справиться не может, и в итоге происходит спад.

Обществу в этом расчете модели удастся достичь и поддерживать желаемый уровень материального благосостояния в течение почти 30 лет, однако в этот период постоянно ухудшается состояние окружающей среды и сельскохозяйственных угодий. Умеренное потребление, ограниченный размер семьи и сознательность общества сами по себе не гарантируют устойчивости. Если меры приняты слишком поздно, если мир уже вышел за пределы, то они не помогут. Чтобы система была по-настоящему самоподдерживающейся, миру необходимо не только ограничить рост, как в сценарии 8, но и принять другие меры. Необходимо уменьшить экологический след до уровня, который окружающая среда в состоянии переносить. Социаль-



ные меры обязательно должны сопровождаться технологическим прорывом.

### **Ограничение роста плюс усовершенствованные технологии**

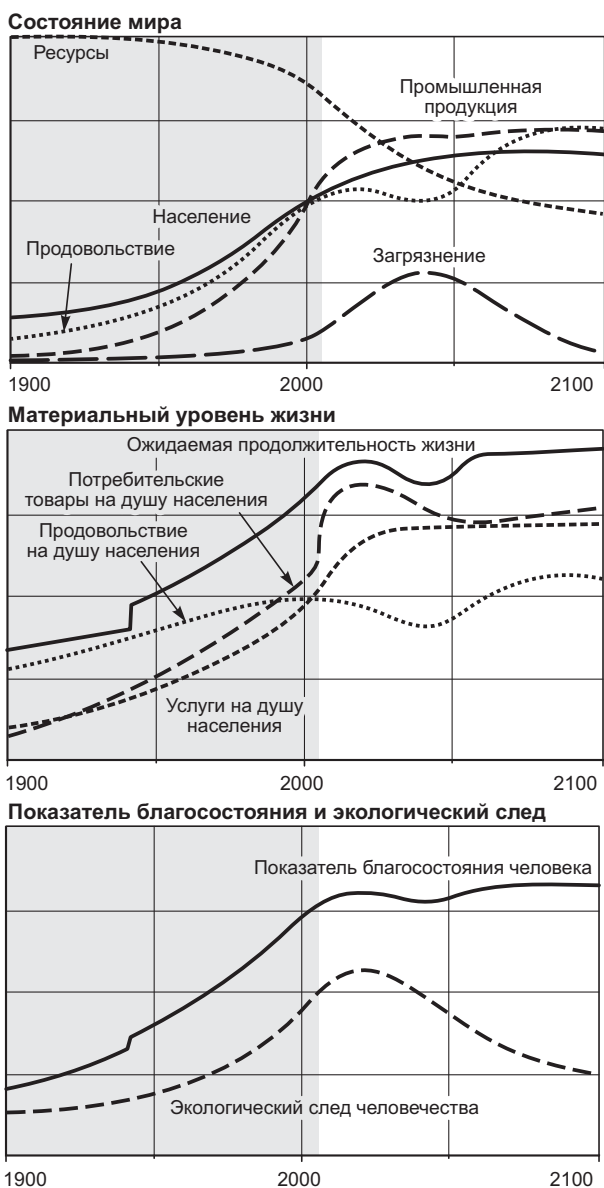
В сценарии 9, показанном на рис. 7.3, в смоделированном мире с 2002 г. каждая семья снова решает ограничиться двумя детьми, контроль над рождаемостью эффективен, ограничения материального производства такие же, как в сценарии 8. Кроме того, начиная с 2002 г., мир активно развивает новые технологии — такие же, что были проанализированы в сценарии 6. В них вкладывают деньги, они применяются на практике и повышают эффективность использования ресурсов, уменьшают выбросы загрязнителей на единицу промышленного капитала, позволяют бороться с эрозией почв и увеличивать урожай до тех пор, пока производство продовольствия на душу населения не достигнет желаемого уровня.

В сценарии 9, как и в сценарии 6, мы предполагаем, что технологии становятся эффективными только через 20 лет после начала разработки и что они требуют затрат. В сценарии 6 капитала было недостаточно для того, чтобы вкладывать его в развитие и внедрение технологий, поскольку тогда мир из-за быстрого роста численности населения переживал цепь кризисов, на борьбу с которыми уходили все средства. В более умеренном обществе из сценария 9 численность населения растет медленнее, капитал не приходится почти полностью инвестировать в поддержание его же собственного роста, да и проблемы не наступают так неумолимо, поэтому средства на разработку новых технологий есть. За счет применения технологических достижений в течение всего века удастся снизить потребление невозобновимых ресурсов на единицу промышленной продукции на 80%, а выбросы загрязнений на единицу продукции на 90%. Поскольку рост промышленного производства сдерживается, возникшая разница, накопившись за годы, приводит не просто к ограничению роста, а к существенному уменьшению экологической нагрузки.

Постоянное увеличение продуктивности земель на некоторое время прерывается — так происходит в первой половине XXI в. из-за роста загрязнения окружающей среды. (Все это — последствия выбросов в конце XX в., просто они проявились с запаздыванием. В «реальном мире» наглядным примером может служить глобальное потепление.) Однако к 2040 г. улучшение технологий позволяет снизить уровень загрязнения; продуктивность земель восстанавливается и понемногу растет оставшуюся часть столетия.

В сценарии 9 численность населения стабилизируется на уровне меньше 8 млрд человек, и для всех жителей планеты на протяжении всего века удастся поддерживать желаемый уровень достатка. Ожи-





**Рис. 7.3.** Сценарий 9: мир с 2002 г. стремится к стабильной численности населения и умеренному объему производства на душу населения, а также применяет технологии для уменьшения загрязнения среды, эффективного использования ресурсов и увеличения урожайности в сельском хозяйстве

В этом сценарии численность населения и промышленное производство ограничены так же, как и в предыдущем, однако вдобавок разрабатываются технологии борьбы с загрязнением, развивается ресурсосбережение, методы повышения урожайности и защиты сельскохозяйственных земель. Такое общество достигает самоподдержания: около 8 млрд человек имеют достойный уровень материального благосостояния, а нагрузка на окружающую среду постоянно снижается.

даемая продолжительность жизни высока, хотя и несколько снижается в тот период, когда уменьшается производство продовольствия. Объем услуг на душу населения в сравнении с 2000 г. возрастает на 50%. К концу расчетного XXI в. продовольствия на планете уже достаточно для всех жителей. Уровень загрязнения проходит максимум и уменьшается, не успев нанести непоправимого вреда. Невозобновимые ресурсы истощаются настолько медленно, что к концу 2100 г. около 50% исходных запасов все еще не израсходованы.

Обществу в сценарии 9 удастся начать снижать нагрузку на окружающую среду раньше 2020 г. — с этого момента экологический след постоянно уменьшается. После 2010 г. становится меньше скорость добычи невозобновимых ресурсов. Эрозия почв уменьшается непосредственно с 2002 г. Выбросы стойких загрязнений достигают пика десятью годами позже. Система возвращается в пределы устойчивости, избегает катастрофы, обеспечивает достойный уровень жизни и удерживается очень близко к равновесию. Сценарий 9 показывает, что самоподдержание возможно: мировая система пришла к равновесному состоянию.

Слово *«равновесие»* на языке системных терминов означает, что положительные и отрицательные циклы обратных связей сбалансированы, а основные уровневые переменные системы — в данном случае численность населения, капитал, земля, продуктивность земель, невозобновимые ресурсы и концентрация загрязнений — остаются практически постоянными. Это вовсе не означает, что население и экономика переживают застой. Они имеют примерно постоянное численное значение, подобно тому, как река имеет примерно постоянные размеры, хотя вода при этом непрерывно течет. В «уравновешенном обществе» — таком, как в сценарии 9, — кто-то рождается, кто-то умирает; строятся новые заводы, дороги, здания, машины, в то время как старые заводы, машины и все прочее выходят из употребления, списываются и идут на утилизацию. По мере усовершенствования технологий поток материальной продукции на душу населения количественно остается прежним, но при этом, безусловно, меняется качественно, по форме, по содержанию.

Как река может подниматься или опускаться относительно своего среднего уровня, так и уравновешенное общество может меняться, причем и по собственному осознанному желанию, и под воздействием непредвиденных обстоятельств или катаклизмов. Как река может очищать сама себя и по мере уменьшения загрязнения поддерживать все более разнообразные и продуктивные водные сообщества, так и общество может очищаться от загрязнения, приобретать новые знания, повышать эффективность производственных процессов, разрабатывать новые технологии, совершенствовать управ-

ление, делать распределение более справедливым, учиться и развиваться. Мы считаем, что обществу будет гораздо проще добиться всего этого, если оно перестанет участвовать в безумной гонке за ростом и начнет действовать рассудительно и достаточно медленно для того, чтобы всегда было время подумать, понять, что происходит, предусмотреть последствия своих собственных действий...

Мы уверены, что построить такое устойчивое общество, как показано в сценарии 9, вполне возможно — для этого нужно только обладать достаточными знаниями о системах нашей планеты. В этом обществе около 8 млрд человек и вполне достаточно продовольствия, потребительских товаров и услуг, чтобы каждому человеку обеспечить достойный уровень комфорта. Такое общество прилагает значительные усилия и использует постоянно улучшающиеся технологии, чтобы защитить земли и почвы, уменьшить загрязнение, использовать невозобновимые ресурсы с высокой эффективностью. Поскольку физический рост замедляется и в какой-то момент останавливается, а технологии позволяют достаточно быстро снизить экологический след до приемлемого уровня, у этого общества есть *время, капитал и возможности*, чтобы решить все остальные проблемы.

Мы считаем, что такая картина не просто возможна, а желательна. Она гораздо привлекательнее тех вариантов, что были смоделированы в предыдущей главе и где рост продолжался до тех пор, пока не наступала черед кризисов. Кстати говоря, сценарий 9 — не единственный устойчивый вариант развития событий, который может дать модель *World3*. В пределах системы существуют определенные допуски и варианты: в ней может быть больше продовольствия и меньше промышленной продукции, либо наоборот, меньше продуктов питания, но больше товаров; численность населения может быть больше при меньшей экологической нагрузке в расчете на душу либо меньшая численность населения может позволить себе больший экологический след. Но основной вывод остается прежним: каждый год промедления в принятии мер уменьшает возможности перехода к устойчивому равновесию, и достигаемый результат становится все менее привлекательным. Это можно наглядно продемонстрировать, рассчитав вариант, при котором изменения, внесенные в сценарий 9, начали бы действовать на 20 лет раньше.

## Что может дать разница в 20 лет

В следующем расчете мы задаемся вопросом: что, если бы смоделированный мир принял необходимые меры (те же, что и в сценарии 9:

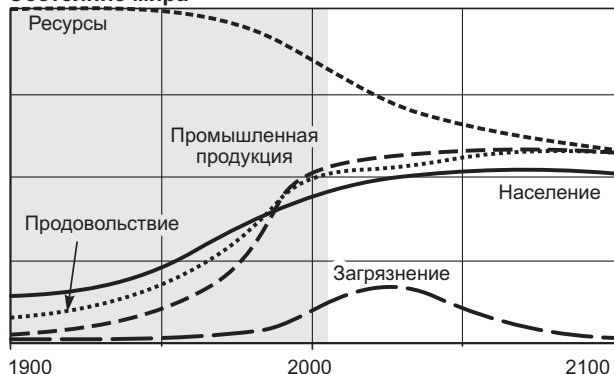
двое детей в семье, умеренный уровень материального достатка, усовершенствованные технологии борьбы с загрязнениями и эффективного использования ресурсов) не в 2002 г., а в 1982 г.? Что дала бы разница в 20 лет?

В сценарии 10, показанном на рис. 7.4, все в точности соответствует сценарию 9, за исключением одного: все изменения вступают в силу не в 2002 г., а в 1982 г. Переход к методам самоподдержания на 20 лет раньше позволил бы построить более безопасный и обеспеченный мир, причем быстрее и с меньшими проблемами в аграрном секторе. В этом сценарии население стабилизируется на уровне чуть больше 6 млрд человек, а не почти 8 млрд. Пик загрязнений гораздо ниже, и мир его преодолевает на 20 лет раньше. Загрязнение окружающей среды влияет на сельское хозяйство гораздо слабее, чем в сценарии 9. Ожидаемая продолжительность жизни достигает 80 лет и продолжает оставаться высокой. К концу XXI в. человечество сберегает больше невозобновимых ресурсов, поэтому их разведка и добыча требуют меньше усилий. Ожидаемая продолжительность жизни, производство продовольствия, потребительских товаров и услуг на душу населения стабилизируются на более высоком уровне, чем в сценарии 9.

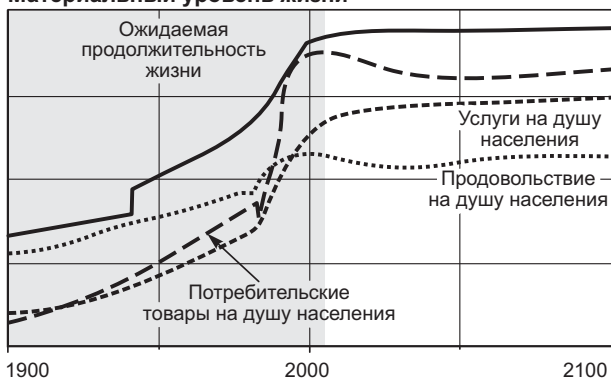
Человечеству в сценарии 10 удается без проблем поддерживать высокий уровень жизни и обеспечивать технологический прогресс. Это общество наслаждается более благоприятной окружающей средой, располагает большим количеством ресурсов, имеет больше степеней свободы. Оно не подходит так близко к пределам допустимого и не балансирует на краю, как общество из сценария 9. Такое будущее было вполне возможным. Однако в 1982 г. мир упустил эту возможность.

С помощью модели *World3* мы проверили не только те одиннадцать сценариев, что приведены в книге, но и огромное количество других. Мы исследовали возможные эффекты от многих других мер и изменений в общемировых тенденциях, которые позволили бы численности населения и материальной экономике вписаться в пределы самоподдержания. Разумеется, модель содержит множество упрощений, некоторые факторы в ней вообще не учтены. Поэтому в любых сценариях не стоит ориентироваться на конкретные численные значения — важны качественные выводы. Работа, которую мы сделали, позволила сделать два принципиальных заключения, и уж в них-то мы уверены на 100%. Первый вывод из всех наших экспериментов состоит в том, что чем больше мир откладывает принятие решительных мер, тем больше сужаются долговременные перспективы человечества и тем меньше у него остается возможных вариантов. Промедление с ограничением и остановкой роста численности

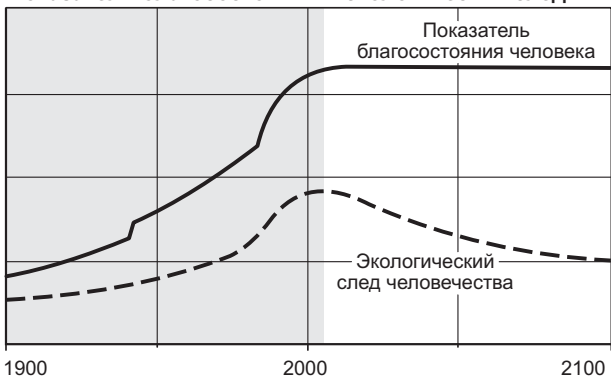
### Состояние мира



### Материальный уровень жизни



### Показатель благосостояния и экологический след



**Рис. 7.4.** Сценарий 10: те же меры по достижению устойчивости, что и в сценарии 9, однако принимаются они на 20 лет раньше — в 1982 г.

В этом расчете происходят все те же изменения, что и в сценарии 9, однако они вступают в силу в 1982 г., а не в 2002 г. Переход к самоподдержанию, начатый на 20 лет раньше, означал бы стабилизацию численности населения на более низком уровне, меньшее загрязнение окружающей среды, не такой быстрый расход невозобновимых ресурсов и несколько более высокий уровень материального достатка для всего населения планеты.

населения и стабилизацией производственного капитала означает, что загрязнение продолжает расти, все больше земель деградирует, и тем значительнее в абсолютном выражении должны быть потоки продовольствия, услуг и товаров, чтобы поддерживать существование людей. Нужда больше, проблемы острее, возможностей меньше.

Все это можно проиллюстрировать еще одним расчетом, в котором те же меры, что и в сценарии 9, принимаются не в 2002 г., а 20 годами позже. К этому моменту неконтролируемого спада избежать уже невозможно — слишком поздно. Отсрочка в два десятилетия позволяет численности населения достичь значения в 8 млрд человек гораздо быстрее, чем это было в сценарии 9. Из-за 20 лет бездействия и непринятия мер промышленное производство достигает гораздо более высокого уровня, чем в сценарии 9. Учитывая дополнительную производственную деятельность и двадцатилетнее отставание технологий по борьбе с выбросами, мы получаем кризис загрязнений. Продуктивность земель уменьшается, производство продовольствия падает, ожидаемая продолжительность жизни резко снижается, и так же резко уменьшается численность населения. Двадцать лет бездействия вместо перехода к устойчивому развитию сильно сужают перспективы нашего смоделированного мира и приводят его к череде потрясений, которая ничем хорошим не закончится. Меры, которые в определенный момент привели бы к успеху, теперь не дают никакого результата.

## **Слишком много — это сколько?**

Второй вывод из всех наших экспериментов состоит в том, что слишком большие материальные требования человечества к мировой системе тоже могут привести к катастрофе. Мы проводили расчеты по модели *World3* с абсолютно такими же настройками, что и в сценарии 9, с одной лишь разницей: желаемое производство промышленной продукции на душу населения стало больше в 2 раза. В этом случае смоделированный мир тоже начинает стабилизировать численность населения и экономики с 2002 г. и применяет те же технологии ресурсосбережения и борьбы с загрязнением окружающей среды. Однако если население превышает 7 млрд человек, то уровень, к которому стремится производство промышленной продукции на душу населения, поддержать не удастся, какими бы усовершенствованными технологиями мы ни располагали.

Промышленное производство на душу населения достигнет желаемого уровня после 2020 расчетного года, но удержится на нем не-

долго. Максимум будет пройден около 2030 г., затем начнется постепенный спад. Душевое производство продовольствия снижается практически сразу после достижения пика, который приходится примерно на тот же год. Причина в том, что для более высоких объемов материального производства и для борьбы с последствиями загрязнения требуется все больше капитала. К расчетному 2050 г. потоки продовольствия и промышленной продукции на душу населения в таком требовательном мире снижаются и оказываются на уровнях существенно ниже, чем было в сценарии 9, где мир проявлял умеренность в своих запросах.

Доказывает ли этот расчет, что определенный в нем жизненный стандарт в «реальном мире» удастся поддерживать для 7,5 млрд человек? Ни в коем случае! Численные значения, заложенные в программу, обладают большими допусками, поэтому их нельзя считать абсолютно достоверными. Никакая модель не может давать точных прогнозов для мировой системы на 30 или 50 лет вперед. Кто знает — может быть, даже большее количество людей будет иметь уровень достатка выше, чем в сценарии 9. А может случиться и по-другому: учитывая, что в модели *World3* нет войн, конфликтов, коррупции, а люди не совершают ошибок, ее расчеты слишком оптимистичны, и в «реальном мире» никогда не удастся поддержать уровень сценария 9.

Модель *World3* в чем-то подобна черновому наброску архитектора. Она показывает взаимосвязь основных параметров, помогает обдумывать разные варианты будущего, в котором мы хотели бы жить, но не дает никаких подробностей о сложных политических, психологических и личностных проблемах, которые встретятся во время переходного процесса. Чтобы делать такие точные прогнозы, нужен гораздо более продвинутый уровень развития науки — гораздо выше, чем сегодняшний. И если бы кто-то взялся сделать такую модель, ему потребовалось бы все профессиональное умение, сдержанность, готовность признавать ошибки и желание постоянно совершенствовать работу по мере ее выполнения.

Из наших экспериментов с моделью не следует автоматически делать вывод о том, что немедленное принятие мер для перехода к устойчивому развитию гарантированно приведет к привлекательному будущему, что задержка в 10 или 20 лет обязательно закончится катастрофой. Мы формулируем наше заключение иначе: запаздывание в принятии мер уменьшает наши возможности и снижает уровень достатка, который мог бы поддерживаться в устойчивом обществе. Из наших сценариев вовсе не следует, что потребление на уровне, превышающем сегодняшний на 10–20%, может поддерживаться устойчиво, в то время как уровень потребления вдвое выше непременно вызовет катастрофу. Однако мы заключаем, что само-



поддерживающаяся система обеспечила бы большинству населения мира более привлекательные условия жизни, чем сегодня. Вместе с тем для населения численностью 6 или 8 млрд человек в принципе невозможно предложить неограниченно высокий или просто очень высокий уровень материального потребления.

Модель *World3* нельзя использовать для поиска точных численных пределов самоподдержания мировой системы. В мире нет ни одной модели, которая позволила бы это сделать, а может, и никогда не будет. Более того, поиск максимально допустимого уровня экологической нагрузки с тем, чтобы приблизиться к нему, — путь опасный и чреватый последствиями, ведь текущие пределы роста вовсе не являются неизменными. Они определяются только приблизительно, могут меняться со временем, а их изучение и возможные отклики всегда будут происходить с запаздыванием. Гораздо безопаснее (и предпочтительнее как по этой, так и по другим причинам) научиться достойно жить так, чтобы с запасом вписываться в пределы устойчивости мировой системы. Иначе вся наша жизнь превратится в хождение по лезвию бритвы с постоянным риском в какой-то момент превысить максимально допустимые значения.

Модель *World3* была создана для исследования схем поведения нелинейной мировой системы, имеющей большое количество внутренних взаимосвязей, запаздываний по откликам и различных ограничений. Она не предназначена для того, чтобы выдавать количественные прогнозы на будущее или точные планы действий. Зато она в состоянии дать качественные выводы (например, такие как заключения на основе сценариев в этой главе), и мы уверены: эти выводы правильны. При этом далеко не все из них в настоящий момент признаны широкой общественностью. Только представьте себе, насколько изменились бы принимаемые решения, законы, направления инвестиций и различные мировые события, если бы то, что перечислено дальше, было широко известно и повсеместно признано.

- Мировой переход к устойчивому обществу, вероятно, возможен без снижения текущей численности населения и уровня промышленного производства.
- Тем не менее для перехода к самоподдержанию необходимы активные меры по уменьшению экологического следа. Потребуются осознанное желание и готовность населения ограничить размер семьи, уменьшить материальные запросы и увеличить эффективность использования ресурсов планеты.
- Существует множество путей, чтобы перейти к устойчивому развитию. Разными могут быть и численность населения, и жизненные стандарты, и вложения в технический прогресс, и распре-



деление инвестиций между промышленным сектором, сферой услуг, сектором производства продовольствия и других материальных видов продукции. Необходимо сделать выбор в масштабах всего мира, и хотя он не обязательно должен быть одинаковым для всех регионов, принимать решение необходимо без промедления.

- Неизбежен компромисс между численностью населения, которую может поддержать планета, и уровнем материального благосостояния, который удастся обеспечить для каждого жителя. Точные численные значения и зависимости при этом определить невозможно, к тому же они могут изменяться с учетом умения человечества приспосабливаться, по мере развития технологий, накопления знаний, изменения экосистем Земли... Но в любом случае остается верным правило: чем больше людей, тем ниже уровень материального достатка каждого из них и тем меньше должен быть экологический след на душу населения.
- Чем больше времени уйдет у человечества на уменьшение экологического следа и принятие мер по переходу к устойчивости, тем ниже окажутся жизненные стандарты и тем меньшую численность населения удастся устойчиво поддерживать в итоговой системе. Если запаздывание превысит некое пороговое значение, систему ожидают катастрофические последствия.
- Чем выше общество устанавливает желаемый материальный уровень достатка и чем больше желаемая численность населения, тем выше риск того, что система выйдет за пределы, которые вдобавок будут постоянно деградировать и сужаться.

В соответствии с нашей компьютерной системой, нашими мысленными моделями, доступными статистическими данными и нашими представлениями о «реальном мире» у общества нет лишнего времени. Меры по переходу к устойчивости и возвращению системы в допустимые рамки необходимо принимать немедленно. Если откладывать уменьшение потоков в системе и переход к самоподдержанию, то в лучшем случае для будущих поколений уменьшится возможность выбора. В худшем случае наступят крах и разрушение системы.

В любом случае нельзя терять времени. Самоподдержание — идея новая и для многих непривычная, ее не так-то просто сразу осознать. Но ведь по всему свету есть люди, которым вполне удалось освоиться в этой области знаний и научиться интуитивно понимать, что такое устойчивый мир. Это означает, что человечество пойдет навстречу устойчивости не из-под палки, а по доброй воле, и не с ощущением жертвы, а с отвагой и решимостью. Устойчивый мир может быть гораздо лучше того, в котором мы живем сейчас.

## Устойчивое общество

*Устойчивость* можно определить по-разному. Самое простое определение: общество устойчиво, если оно поддерживается на протяжении многих поколений, если оно обладает предусмотрительностью, способностью адаптироваться и благоразумием, достаточными для того, чтобы не подрывать основы собственного существования, как физические, так и социальные.

В 1987 г. Международная комиссия ООН по окружающей среде и развитию выразила идею самоподдержания и устойчивости в следующих словах:

---

«Устойчивое развитие — развитие, которое удовлетворяет потребности текущих поколений, не подрывая при этом способность будущих поколений удовлетворять их собственные нужды»\*.

---

С системной точки зрения устойчивое общество — это общество, в котором для контролирования положительных циклов обратной связи, ответственных за экспоненциальный рост численности населения и капитала, успешно используются информационные, социальные и организационные методы. Это значит, что рождаемость примерно равна смертности, а объемы инвестиций соответствуют объемам выбывания (амортизации) капитала до тех пор, пока не принимаются сознательные технические или социальные меры для продуманного и взвешенного изменения численности населения или промышленного капитала. Чтобы система была стабильна в социальном плане, соотношение численности населения и объема капитала должно поддерживаться таким образом, чтобы материальный уровень благосостояния был достойным, распределение благ — справедливым, а существование — безопасным для всех людей на планете. Чтобы мир был материально и энергетически устойчив, физические потоки в экономике должны соответствовать трем условиям Германа Дейли\*\*:

- 1) скорость использования возобновимых ресурсов не должна превышать скорости их самовосполнения;

---

\* См. доклад Комиссии Брундтланд: World Commission on Environment and Development, Our Common Future. Oxford: Oxford University Press, 1987.

\*\* Герман Дейли — один из немногих людей, кто уже давно начал думать о том, какие экономические институты могли бы привести мир к устойчивому состоянию. Он предлагает своеобразную смесь рыночных и регулирующих механизмов, над которой стоит подумать. См., например, публикацию: *Daly H. Institutions for a Steady-State Economy // Steady State Economics*. Washington, DC: Island Press, 1991.

- 2) скорость использования невозобновимых ресурсов не должна превышать скорости, с которой для их замещения разрабатываются заменители на основе других возобновимых ресурсов;
- 3) объемы выбросов не должны превышать количеств, которые могут быть разложены, поглощены или переработаны окружающей средой.

Такое общество, создающее экологическую нагрузку в рамках допустимого, будет практически во всем отличаться от общества, в котором сейчас живет большинство людей на планете. На мысленных моделях, господствующих в начале XXI в., лежит отпечаток ужасающей нищеты и быстрого материального роста; всем кажется, что рост необходимо поддерживать любой ценой. Когда доминируют представления о безудержном росте или пугающем застое, человеческому сознанию трудно представить себе устойчивое, достаточное, справедливое и целеустремленное общество. Прежде чем мы сможем дать точно описание того, каким *может быть* устойчивое общество, стоит пояснить, каким оно точно *не должно быть*.

Устойчивость не обязательно означает «нулевой рост». В обществе, заикленном на росте, всякое сомнение в необходимости роста воспринимается в штыки. Но такое сомнение вовсе не означает однозначного отказа от роста в любой форме. Основатель Римского клуба Аурелио Печчеи еще в 1977 г. отмечал, что такая реакция просто заменяет одно чрезмерное упрощение другим:

---

«Всех тех, кто помогал развеять миф о росте... осмеяли и, образно говоря, повесили, распяли и четвертовали преданные защитники священной коровы роста. Некоторые из них... обвиняют доклад ["Пределы роста"]... в приверженности НУЛЕВОМУ РОСТУ. На самом деле такие люди вообще ничего не поняли ни о Римском клубе, ни о росте. Представление о нулевом росте настолько примитивно (как, кстати, и о бесконечном росте) и настолько размыто, что говорить о нем в живом, динамичном обществе просто абсурдно»\*.

---

Устойчивое общество должно быть заинтересовано в качественном развитии, а не в физическом расширении. Оно может использовать материальный рост как продуманный инструмент, но не извечный порядок. Ему не следует выступать ни за, ни против роста как такового — оно будет развивать различные виды роста и оценивать

\*

См. книгу: *Peccei A. The Human Quality*. New York: Pergamon Press, 1977. С. 85. Книга дважды издавалась на русском языке: *Печчеи А. Человеческие качества*. М.: Прогресс, 1980. 302 с.; *Печчеи А. Человеческие качества*. М.: Прогресс, 1985. 312 с.

его цели. Можно даже пойти на сознательное поддержание отрицательного роста, чтобы отступить назад и вернуться в допустимые пределы, чтобы прекратить те виды деятельности, которые по сумме природных и социальных факторов окажутся не созидательными, а разрушительными.

Прежде чем устойчивое общество согласится на тот или иной вид роста, оно задастся вопросами: для чего нужен этот рост, кто от него выиграет, сколько это будет стоить, как долго он продлится и какие последствия вызовет для глобальных источников и стоков? Такое общество будет использовать свою систему ценностей и новейшие знания о пределах планеты, чтобы выбирать только такие виды роста, которые позволят достичь важных социальных целей и укрепить устойчивость и самоподдержание. И когда любой физический рост выполнит свою задачу, общество его прекратит.

В устойчивом обществе *не будет* сегодняшнего несправедливого распределения, и оно уж точно не оставит бедняков наедине с их нищетой. Это не было бы подлинной устойчивостью по двум причинам. Во-первых, бедняки не могут, да и не должны мириться с нищенским положением. Во-вторых, если какая-либо часть света будет прозябать в нищете, то не удастся стабилизировать численность населения (разве только за счет одного варварского метода — принудительного увеличения смертности). И по моральным, и по практическим соображениям любое устойчивое общество должно обеспечивать достаточность и безопасность для всех. Чтобы перейти к самоподдержанию из сегодняшнего состояния мира, все остающиеся возможности роста — касается ли это использования ресурсов, выбросов загрязнений или резервов, которые высвобождаются за счет повышения эффективности и изменения стиля жизни людей в богатых странах мира, все подобные излишки — должны направляться тем, кто больше всего в них нуждается. Это логично, и мы надеемся, что такая точка зрения будет принята всеми.

Устойчивое состояние вовсе не подразумевает, что общество находится в упадке или переживает застой. Не означает это и безработицу и развал существующих экономических систем, которые обычно наступают при вынужденном прекращении роста. Разница между устойчивым обществом и современным спадом экономики подобна различию между остановкой автомобиля разными способами: в первом случае вы пользуетесь тормозами и останавливаетесь плавно, во втором — с разгона врзаетесь в бетонную стену. Когда современная экономика выходит за пределы, изменения происходят слишком быстро и неожиданно для людей и организаций. Им приходится спешно переучиваться, менять работу, переезжать, заново приспо-

сабливаться... Продуманный переход к самоподдержанию будет осуществляться довольно медленно; времени хватит, чтобы всех предупредить и все предусмотреть, чтобы и люди, и предприятия нашли свое место в новой экономике.

Нет никаких причин, по которым устойчивое общество должно быть примитивным с технической или культурной точки зрения. В мире, свободном от тревог и ненасытной жадности, возможности для творчества будут огромны. Раз обществу и окружающей среде не понадобится расплачиваться за последствия роста, то вполне возможен большой прорыв в технологии и культуре. Джон Стюарт Милль, один из первых (и последних) экономистов, кто принял всерьез идею экономики, вписанной в пределы планеты, заметил, что «стационарное состояние», как он его называл, может поддерживать постоянное изменение и совершенствование общества. Сто пятьдесят с лишним лет назад он писал:

---

«Я не могу... рассматривать стационарное состояние капитала и богатства с тем искренним отвращением, которое столь свойственно политэкономистам старой школы. Я склонен считать, что в целом было бы достигнуто весьма существенное улучшение в сравнении с сегодняшним положением. Признаюсь честно, я вовсе не очарован идеалами, которые проповедуют те, кто считает нормальным состоянием человечества постоянную борьбу за выживание, кто верит, что топтать, давить, толкаться и наступать друг другу на пятки – желанный удел человечества... Едва ли нужно уточнять, что стационарное состояние капитала и населения вовсе не означает застоя в человеческом совершенствовании. Возможностей для развития духовной культуры, морального и социального прогресса, а также для совершенствования Искусства Жизни будет ничуть не меньше, чем сейчас, а скорее всего, гораздо больше»<sup>\*</sup>.

---

Устойчивый мир не будет, да и не сможет быть застывшим, с патологически постоянными численностью населения, объемом производства или любыми другими параметрами. Одна из странных особенностей современных мысленных моделей — представление о том, что мир умеренности обязательно должен быть миром жесткого централизованного правительственного контроля. Для устойчивой экономики такой тип контроля невозможен, нежелателен, да и не нужен. (С системной точки зрения у этого вида управления слиш-

---

<sup>\*</sup>

Цит. по труду: *Mill J. S. Principles of Political Economy*. London: John W. Parker, West Strand, 1848.

ком много недостатков, что нам наглядно продемонстрировал бывший Советский Союз).

Конечно, в устойчивом мире будут работать определенные правила, законы, стандарты, границы, социальные соглашения и ограничения, как и в любой другой человеческой культуре. Некоторые из правил устойчивого мира будут отличаться от тех, по которым люди живут сейчас. Какие-то виды контроля уже вступают в силу — например, международное соглашение по озону, договоренности по ограничению выбросов парниковых газов. Однако правила, обеспечивающие устойчивость, как любые реальные социальные правила, будут вводиться в действие не ради ограничения или отмены свобод, а ради их создания и защиты. Запрет грабить банки ограничивает свободу злоумышленников, чтобы все остальные могли пользоваться свободой вкладывать и получать деньги без риска. Запреты на чрезмерную эксплуатацию возобновимых ресурсов или на выбросы опасных загрязнителей похожим образом защищают жизненно важные права.

Не нужно обладать богатым воображением, чтобы представить себе минимальный набор социальных структур — циклов обратных связей, передающих новую информацию о расходах, последствиях и санкциях, — которые обеспечат в обществе развитие, творчество, совершенствование и сделают возможными новые свободы, которые просто нереализуемы в перенаселенном или вышедшем за пределы мире. Одно из самых важных новых правил прекрасно соотносится с экономической теорией, оно соединит в себе знания и привычный облик рыночной системы: в цене на продукт должна отражаться его полная стоимость, включая все экологические последствия и побочные социальные эффекты от изготовления и использования такого продукта. Учебники по экономике требуют ввести эту меру уже десятки лет (причем тщетно), а ведь она позволила бы автоматически привести в соответствие инвестиции и закупки, чтобы люди могли делать выбор на основе наглядного денежного выражения и не сожалеть впоследствии, что неправильный выбор пагубно отразился на материальном или социальном благосостоянии.

Некоторые люди полагают, что устойчивому обществу следует отказаться от использования невозобновимых ресурсов, поскольку этот процесс неустойчив по определению. Но такое представление об устойчивости доведено до крайности. Конечно же, устойчивое общество будет использовать невозобновимые ресурсы, заложенные в недрах земли, более разумно и эффективно, чем современный мир. Эти ресурсы станут оценивать по истинной стоимости, поэтому их удастся сделать достоянием и многих следующих поколений. Но нет причин для того, чтобы совсем отказаться от их использования,

если оно сможет соответствовать требованиям устойчивости, которые мы уже привели, а именно: не будет переполнять природные стоки, а параллельно ему будут развиваться заменители на основе возобновимых источников.

Нет никаких причин, по которым устойчивое общество должно быть однообразным. Как и в природе, в человеческом обществе разнообразие одновременно служит причиной устойчивости и является ее следствием. Многие из тех, кто думал о практическом воплощении устойчивости, представляют ее себе как почти полностью децентрализованную систему, в которой местные участки задействуют в основном локальные ресурсы и меньше опираются на международную торговлю. Между такими участками могут быть приняты граничные соглашения, которые защищали бы каждое местное сообщество от влияния со стороны соседей и мировой системы в целом. Культурная самобытность, автономность, свобода и самоопределение в таком мире должны стать сильнее, чем сейчас.

Устойчивому обществу нет никакой необходимости становиться недемократичным, серым и безынициативным. Некоторые игры, которыми сегодня увлекается человечество, вроде гонки вооружений или безудержного накопления богатств, вероятно, выйдут из моды, потеряют свою привлекательность и актуальность. Но в мире будет достаточно других интересных занятий, новых целей, проблем, которые надо решить, путей для самореализации, способов проверить себя, послужить обществу — прожить хорошую жизнь, причем, вероятно, приносящую гораздо больше удовлетворения, чем это возможно сегодня.

У нас получился длинный список того, каким не должно быть устойчивое общество. Перечисляя эти пункты, мы одновременно методом «от противного» определяли, каким может быть устойчивое общество. Однако подробное описание такого общества нельзя сделать силами маленькой группы специалистов по компьютерному моделированию — для этого нужны идеи, умения и таланты миллионов людей.

Структурный анализ мировой системы, который мы привели в этой книге, позволяет получить только общие представления о том, как нужно измениться системе, чтобы прийти к устойчивости. Мы перечисляем их дальше. Каждое из них можно реализовать сотнями разных способов на всех уровнях: в семье, сообществе соседей, на предприятиях, в компаниях, корпорациях, странах и в мире в целом. С их помощью можно изменить собственную жизнь, культуру, политические и экономические системы. Каждое действие в этом направлении — шаг навстречу устойчивости, хотя для достижения желаемого результата необходимо пройти их все.



- *Расширить временные границы при планировании.* Выбор из возможных вариантов следует делать на основе долговременных перспектив, суммарных расходов и преимуществ, а не сиюминутных результатов, которых можно добиться на рынке или политических выборах. Необходимо стимулировать средства массовой информации, рынок и избирательную систему, чтобы они учитывали и несли ответственность за проблемы, которые могут проявиться спустя десятилетия — для этого необходимо выработать соответствующие инструменты и процедуры.
- *Улучшить прием и обработку сигналов.* Необходимо глубже изучить и постоянно отслеживать фактический уровень благосостояния населения и воздействие на мировую экосистему в результате деятельности человека \*. Следует постоянно оперативно информировать правительства и общественность о состоянии окружающей среды и социальных условиях, а не только отвлеченных экономических показателей. В экономических ценах должны отражаться и социальные, и экологические затраты. Показатели вроде ВВП придется переопределить, чтобы не было путаницы между прибылями или производительностью и благосостоянием, или между истощением природного капитала и доходами.
- *Уменьшить время отклика.* Необходимо отслеживать сигналы, которые свидетельствуют о том, что окружающая среда или общество испытывают напряженность. Нужно заранее решать, какие действия предпринять в случае появления проблемы (в идеале она должна быть предсказана задолго до того, как проявится). Должны работать организационные и технические механизмы, позволяющие эффективно реагировать на проблему. Необходимо поощрять гибкость и творчество, развивать критическое мышление и способность преобразовывать как физические, так и социальные системы. Компьютерное моделирование на этом этапе может помочь, но самое важное — чтобы общее образование учило людей системному мышлению.
- *Свести к минимуму использование невозобновимых ресурсов.* Ископаемые виды топлива, грунтовые воды и минеральное сырье должны использоваться с максимально возможной эффектив-

\* Хорошим примером может служить выходящий дважды в год отчет Всемирного фонда дикой природы WWF *Living Planet Report* (World Wide Fund for Nature International, Gland, Switzerland). Фонд предоставляет данные об изменениях биоразнообразия в глобальных масштабах и ведет статистику по величине экологического следа для разных стран мира.



ностью, перерабатываться и использоваться повторно (ископаемое топливо повторно использовать нельзя, однако воду и минеральное сырье — можно). Расходование невозобновимых ресурсов должно быть лишь временным средством при переходе на возобновимые источники.

- *Не допустить истощения возобновимых ресурсов.* Продуктивность почв, поверхностные воды, восполняемые грунтовые воды и все формы жизни, включая леса, рыбу, зверей, надо защищать, восстанавливать и улучшать всегда, когда это возможно. Использовать эти ресурсы можно только с той скоростью, с которой они могут самовосстанавливаться. Поэтому необходимо собирать информацию о скорости самовосполнения, определять строгую социальную ответственность и принимать экономические меры, чтобы не допустить чрезмерного использования таких ресурсов.
- *Использовать ресурсы с максимальной эффективностью.* Чем больше благ для человека удастся обеспечить при заданном уровне экологической нагрузки, тем выше будет качество жизни в пределах устойчивости среды. Технически вполне возможно достичь большей эффективности, к тому же это экономически выгодно\*. Высокая эффективность жизненно необходима для того, чтобы привести численность населения и экономику в соответствие пределам окружающей среды и не допустить катастрофы.
- *Замедлить, а затем остановить экспоненциальный рост численности населения и физического капитала.* Первые шесть пунктов, перечисленных в этом списке, способны помочь только до определенного предела. Последний пункт — ключевой. Для его выполнения необходимы организационные и социальные меры, а также изменение философии и мировоззрения. Следует определить, какой уровень численности населения и промышленного производства желателен и может устойчиво поддерживаться. Главной ценностью должно быть качественное развитие, а не рост. Для этого необходимо глубинное изменение в представлениях людей о цели человеческой жизни: она вовсе не должна быть посвящена только физическому расширению и накоплению.

\* См. книгу: *Hawken P., Lovins A., Lovins L. H. Natural Capitalism.* Boston: Back Bay Books, 2000. Книга издавалась на русском языке: *Хокен П., Ловинс Э., Ловинс Х. Естественный капитализм. Грядущая промышленная революция.* М.: Наука, 2002. 460 с.

Что касается последнего пункта, необходимого для перехода к устойчивости, то прежде всего следует перечислить насущные проблемы, которые в большинстве случаев и являются глубинными причинами роста: нищета, безработица, неудовлетворенные потребности. Рост в своем современном виде либо совсем не решает эти проблемы, либо делает это медленно и неэффективно. Но пока на горизонте не появятся более эффективные способы их решения, общество ни за что не откажется от своего пристрастия к росту — ведь людям необходима надежда. Рост может внушать фальшивые надежды, но это лучше, чем ничего.

Чтобы укрепить надежду и решить актуальные проблемы, необходимо развить совершенно новые представления в трех областях.

1. *Нищета.* В политических обсуждениях и переговорах глагол «делиться» находится под запретом. Может быть, из-за глубокой веры в то, что если разделить на всех — не хватит никому. «Достаточность» и «общность интересов» — вот термины, которые помогут развить новые подходы, чтобы покончить с нищетой. В условиях выхода за пределы мы все равны. Если управлять миром грамотно, то хватит на всех; если управлять неграмотно, то последствий не избежать никому, и тогда не спасут никакие богатства.
2. *Безработица.* Человеку необходимо работать, самореализовываться, совершенствоваться, нести ответственность за удовлетворение собственных нужд, испытывать чувство причастности, получать признание как зрелому, ответственному члену общества. Это настоящая потребность, ее необходимо удовлетворять, и при этом работа не должна быть отупляющей или вредной для здоровья. В то же время занятость не должна быть единственным условием существования. Необходимо отказаться от ограниченного представления о том, что одни люди «создают» рабочие места для других (и от еще более узкой идеи о том, что рабочая сила — не более чем статья расходов, которую нужно уменьшать). Это сделать нелегко, потребуются фантазия и творческий подход, ведь на самом деле нам необходима экономическая система, которая использует и поощряет любой вклад, который люди могут внести. Такая система должна распределять работу, отдых и экономические результаты справедливо, не обходя своим вниманием и тех, кто по тем или иным причинам временно или постоянно нетрудоспособен.
3. *Неудовлетворенные материальные потребности.* Людям не нужны огромные автомобили — на самом деле им нужны уважение и признание. Ни к чему бесконечный поток новой одежды — на самом деле просто нужно чувствовать, что для других

людей мы привлекательны, испытывать душевное волнение, видеть разнообразие и красоту вокруг. Людям не нужно засилье электроники — на самом деле требуется нечто, что занимало бы их мысли и эмоции. Этот список можно продолжать до бесконечности. Пытаться удовлетворить реальные, но невещественные потребности (в самоутверждении, самооценке, самореализации, общественном признании, любви и радости) с помощью материальных потоков — значит пробудить неутолимое стремление к ложным решениям, желание, которое никогда не будет удовлетворено полностью. Общество, которое сможет признать невещественные потребности человека и найдет нематериальные же способы удовлетворить их, будет использовать гораздо меньшие потоки энергии и сырья и при этом продвинется гораздо дальше в стремлении к духовному совершенствованию.

Что же может сделать для решения проблемы каждый из нас? Как мир может разработать *систему*, которая решит эти проблемы? Вот где широкий простор для творчества и изобретательности! Поколениям, живущим на границе тысячелетий, предстоит не только уменьшить экологический след и привести его в соответствие с пределами Земли, но при этом еще и преобразовать свой внутренний и внешний мир. Этот процесс затронет все сферы жизни, в нем будет востребовано все разнообразие человеческих талантов. Найдут применение новые технические и предпринимательские идеи, общественные, социальные, политические, художественные и духовные устремления. 50 лет назад Льюис Мэмфорд признал величие этой задачи и ее *общечеловеческий* характер. Для ее решения необходимо воспитать лучшие человеческие качества в каждом из нас.

---

«Век роста уступает место веку равновесия. Достижение этого равновесия — задача ближайших нескольких столетий... Лейтмотивом нового периода будет не оружие и человек, и не машины и человек; его основой будет возрождение жизни, замещение механического органическим, признание личности как конечной цели всех человеческих усилий. Развитие, гуманизация, сотрудничество, сосуществование — вот ключевые понятия новой общемировой культуры. Все сферы жизни испытают на себе эти перемены: они повлияют на цели образования и на ход научных исследований в неменьшей степени, чем на организацию промышленных предприятий, планирование городов, развитие регионов, обмен мировыми ресурсами»<sup>\*</sup>.

---

<sup>\*</sup>

См. книгу: Mumford L. The Condition of Man. New York: Harcourt Brace Jovanovich, 1944. С. 398–399.

Необходимость перевода промышленного мира на новую ступень развития — не бедствие, а привлекательная возможность. Как ее использовать, как сделать мир не только устойчивым, разумным и справедливым, но еще и желанным для всех — вопрос лидерства, этики, умения видеть и смелости. Это свойства не компьютерных моделей, а человеческого сердца и души. Чтобы поговорить о них, нам, авторам, нужно закончить эту главу, выключить компьютеры и отложить в сторону статистические данные и сценарии, чтобы в главе 8 обсудить выводы, основанные не только на научном анализе, а на наших внутренних ощущениях и интуиции.

## Что нужно, чтобы перейти к устойчивому развитию

---

Надо быть осторожными, чтобы не впасть в уныние.  
Свет надежды еще не угас.

*Эдуард Саума, 1993 г.*

Можем ли мы направить людей и целые страны к устойчивости и самоподдержанию? Такое преобразование общества сравнимо разве только с двумя другими изменениями: сельскохозяйственной революцией в позднем неолите и промышленной революцией последних двух столетий. Эти революции были постепенными, самопроизвольными, и по большей части никто их не осознавал.

Новое преобразование должно носить осознанный характер, и управлять им следует со всей возможной предусмотрительностью, которую только может обеспечить наука... Если нам удастся выполнить эту задачу, это будет небывалым явлением во всей истории человечества.

*Уильям Д. Ракелсхауз, 1989 г.*

Вот уже больше 30 лет мы пишем, говорим и работаем ради перехода к устойчивому развитию. Нам посчастливилось познакомиться с тысячами коллег по всему миру, которые трудятся в той же области, но на свой манер, применяют знания и таланты, чтобы их страны тоже сделали шаг к устойчивости. Когда нам приходится выступать на официальном уровне и слушать политических лидеров, чаще всего приходит разочарование. Когда же мы работаем с отдельными людьми, сотрудничество с ними вызывает воодушевление.

Людей, которых заботят судьба Земли, жизнь и благосостояние детей, внуков и всего населения планеты в целом, мы встречаем повсюду. Они обеспокоены человеческой нищетой и деградацией окружающей среды, всем тем, что видят вокруг себя, и задаются вопросом: может ли современная политика, пропагандирующая увеличение

роста в тех же направлениях, что и раньше, улучшить положение дел? Многие из этих людей ощущают (хотя зачастую довольно смутно), что мир идет в неверном направлении и что нужны коренные изменения, чтобы предотвратить грядущий кризис. Они готовы работать, чтобы воплотить в жизнь эти изменения, если только будут знать, что усилия не окажутся напрасными. Они спрашивают: «Что могу сделать я? Что могут сделать власти? Что могут сделать корпорации и бизнес? Что могут сделать учебные заведения, церковь, средства массовой информации? Что могут сделать граждане, производители, потребители, родители?».

Поиски ответов на эти вопросы, пожалуй, важнее, чем любые частные замечания и соображения — их сейчас огромное количество. Существует список «50 простых вещей, которые могут спасти планету», — простые меры, которые может принять каждый. Покупайте энергоэффективные машины. Сдавайте использованные бутылки и банки. Продуманно голосуйте на политических выборах (если, конечно, вы один из тех, кому посчастливилось иметь машину, пользоваться бутылками и банками и ходить на выборы). Занимайте активную гражданскую позицию. Выдвигайте на выборах свою кандидатуру. В списке есть пункты, которые не так-то просто выполнить: выработать собственный умеренный стиль жизни; ограничиться двумя детьми в семье; выступать за более высокие цены на энергию, полученную от сжигания ископаемого топлива (чтобы тем самым поощрять энергоэффективность и стимулировать переход на возобновимые источники энергии); помочь хотя бы одной семье выбраться из нищеты; зарабатывать на жизнь честным трудом; взять на себя ответственность хотя бы за один небольшой участок земли... И нужно делать все от вас зависящее, чтобы не поддерживать системы, угнетающие людей или разрушающие Землю.

Все эти действия помогут, все они необходимы. Но их одних недостаточно. Устойчивость, достаточность и справедливость требуют структурных изменений, своего рода революции, но не в политическом смысле — не Французская революция и не многие другие, что за ней последовали, а преобразование, подобное сельскохозяйственной и промышленной революциям. Повторно использовать банки и бутылки — прекрасная идея, но вызвать глубинное преобразование общества она не в состоянии.

Что же может стимулировать такое изменение? В поисках ответа на этот вопрос полезно разобрать суть двух первых великих революций в человеческой культуре — так, как историки смогли восстановить их ход.

## Две первые революции: сельскохозяйственная и промышленная

Примерно 10 000 лет назад, после миллионов лет эволюции, количество людей на Земле достигло огромного по тем временам значения — около 10 млн человек. Эти люди были охотниками-собираателями и вели кочевой образ жизни, но в некоторых регионах, ранее изобиловавших дичью и съедобными растениями, разросшимся племенам уже было сложно добывать себе пропитание. Приспособиться к исчезновению дичи можно только двумя способами. Некоторые племена начали более интенсивно кочевать — они покинули свою прародину в Африке и на Ближнем Востоке и переселились на другие территории, богатые дичью. Другие стали одомашнивать животных, занялись земледелием и перешли к *оседлому образу жизни*. Для того времени это была совершенно новая идея. Оставаясь на одном и том же месте, первобытные земледельцы изменили образ мышления человечества, строение общества и облик планеты в такой степени, какую невозможно было даже представить.

Впервые в истории появился смысл в том, чтобы владеть землей. Люди, которым больше не надо было нести все свои пожитки на собственных плечах, могли накапливать вещи, и некоторым это удавалось лучше, чем другим. Появились излишки, родились представления о богатстве, общественном положении, наследовании, торговле, деньгах и власти. Часть людей теперь могла существовать за счет излишков продовольствия, которое производили другие люди, и появились писцы, служители культа, солдаты, мастера, музыканты, атлеты, правители... Так, к лучшему или худшему, появились гильдии и цеха, библиотеки, храмы, оркестры, армии, турниры и соревнования, правящие династии и города.

Мы — наследники сельскохозяйственной революции и считаем ее огромным шагом вперед. Однако первое время, судя по всему, не все было так безоблачно. Многие антропологи полагают, что ведение сельского хозяйства было не лучшим образом жизни, а лишь вынужденной мерой в ответ на увеличение численности населения. Оседлые земледельцы получали больше продовольствия с гектара земли, чем охотники-собиратели, но их пища была менее питательна и разнообразна, а для ее производства затрачивалось гораздо больше труда. В отличие от охотников, земледельцы гораздо сильнее зависели от погоды, нашествия сельскохозяйственных вредителей, набегов соседей... Периодически их охватывали эпидемии. Начинало сказываться притеснение со стороны зарождавшихся правя-

щих классов. Оседлые племена не уходили от создаваемых ими отходов, поэтому они впервые в истории человечества столкнулись с проблемой хронического загрязнения окружающей среды.

Тем не менее сельское хозяйство позволило успешно преодолеть нехватку ресурсов дикой природы. Оно позволило населению расти дальше, и через столетия его численность стала огромной, увеличившись с 10 млн до 800 млн человек в 1750 г. Рост численности населения привел к нехватке других ресурсов, в особенности земли и энергии, поэтому назрела необходимость в еще одной революции.

Промышленная революция началась в Англии с замены исчезающей древесины на каменный уголь, имевшийся в изобилии. Использование угля породило проблемы с извлечением породы, постройкой шахт, откачкой воды, транспортировкой, контролируемым сжиганием угля... Эти проблемы удалось решить относительно быстро, сконцентрировав рабочую силу вокруг шахт и обоганительных фабрик. Технология и торговля заняли ведущие позиции в человеческом обществе, приобретая даже большее значение, чем религия и этика.

И снова изменения получились настолько фундаментальными, что раньше этого никто не мог себе представить. Основой производства стали машины и оборудование, а не земля. Феодализм уступил место капитализму и специфическому ответвлению от него — коммунизму. Повсюду появились автомобильные и железные дороги, фабрики и заводы, дымовые трубы... Города разрастались. И снова изменения вместе с положительными достижениями несли с собой проблемы. Работа на фабрике оказалась более унижительной и изматывающей, чем сельский труд. Окружающая среда вокруг фабрик — вода, воздух — приходила в ужасающее состояние. Уровень жизни большинства заводских работников был гораздо ниже, чем у фермеров, но в то же время земли на всех не хватало, а работа на фабрике находилась для любого желающего.

Современному человеку нелегко оценить, насколько глубоко промышленная революция изменила сознание людей, ведь мы с вами выросли уже в новой среде, и она формирует наше мировосприятие с самого рождения. В 1988 г. историк Дональд Ворстер описал философское влияние индустриализма не хуже, чем это сделал бы любой из искренних приверженцев и последователей этого течения:

---

«Капиталисты... обещали, что за счет господства технологий на Земле удастся обеспечить каждому более справедливую, разумную, эффективную и плодотворную жизнь... Их метод состоял в простом освобождении частного предпринимательства от цепей традици-



онной иерархии и общества, независимо от того, какова была причина этих цепей — окружающая среда или другие люди... Для этого было необходимо научить каждого обращаться с природой и друг с другом с искренней и энергичной напористостью... Люди должны... постоянно думать о том, как делать деньги. Все, что есть вокруг них, они должны оценивать как потенциальный товар, который может обеспечить прибыль на рынке: землю, природные ресурсы, собственный труд. Нужно требовать для себя права производить, покупать и продавать этот товар без внешнего вмешательства или какого-либо регулирования... По мере роста потребностей рынок разрастался все шире, захватывал все сферы деятельности, и в результате связи между человеком и остальной природой свелись к чистому инструментализму — философскому направлению, которое для взаимодействия человека и природы использует только научные понятия и гипотезы\*.

---

«Чистый» инструментализм привел к высочайшей производительности труда и создал цивилизацию, которая сейчас обеспечивает жизнь 7 млрд человек. Это больше чем в 700 раз превышает численность населения планеты до сельскохозяйственной революции. Проникновение рынка во все сферы жизни и колоссальное увеличение запросов приводят к тому, что человечество нещадно эксплуатирует окружающую среду повсюду, от полюсов до тропиков, от горных вершин до глубин океана. Успех промышленной революции, точно так же, как задолго до нее успех сначала охоты и собирательства, а затем земледелия, в какой-то момент привел к истощению ее собственной основы. Вот только на этот раз основа — не только дичь, не только земля, и даже не только полезные ископаемые. Теперь речь идет о поддерживающей емкости всей окружающей среды, глобальной экосистемы. Экологический след человечества превысил уровень устойчивости планеты. Успешность предыдущей деятельности привела к необходимости следующей революции.

## **Следующая революция: переход к устойчивому развитию**

Сейчас никому не под силу описать мир, который может появиться после перехода к устойчивому развитию, точно так же, как какому-нибудь земледельцу в 6000 г. до н. э. и в голову не могло прийти,

---

\*

См. книгу: Worster D. (ed.) *The Ends of the Earth*. Cambridge: Cambridge University Press, 1988. С. 11–12.

какими будут поля кукурузы и сои в современной Айове, а кому-нибудь шахтеру в Англии в 1800 г. и во сне не привиделась бы автоматизированная сборочная линия на заводе Тойоты. Как и другие великие революции, грядущий переход к устойчивому развитию изменит облик Земли и перевернет основы человеческой личности, культуры и общественной жизни. Как и с другими революциями, на проявление всех ее достижений уйдут века, несмотря на то, что сейчас она уже на подходе.

Разумеется, в точности никто не знает, как провести такую революцию. Это не пошаговая инструкция вроде «Чтобы произошло глобальное изменение представлений, сделайте то-то и то-то, вот вам 20 пунктов, которые надо выполнить». Как и предыдущие великие революции, эту тоже нельзя спланировать и провести в приказном порядке, издав набор правительственных постановлений и указов или следуя программе специалистов по компьютерному моделированию. Переход к устойчивому развитию должен быть естественным и постепенным. Он станет результатом изменения мировоззрения, проявлением интуиции, опыта и действий миллиардов людей. Такую задачу не потянуть кому-то в одиночку или каким-то отдельным группам. Памятник за это никому не поставят, но посильный вклад может внести каждый.

Наша подготовка в области системного анализа и собственные исследования подтвердили, что сложные системы обладают двумя ключевыми свойствами, которые чрезвычайно важны для грядущей коренной революции.

Первое: информация — ключевое условие преобразований. Это совсем не обязательно означает, что информации нужно *больше* — более подробная статистика, более объемные базы данных или всемирная сеть (хотя все это тоже может сыграть определенную роль). Главное требование — информация должна быть *достоверной, существенной, точной, своевременной и действенной*. Она должна распространяться новыми путями и к новым получателям, нести в себе новое содержание, предлагать новые правила и цели (которые, кстати, и сами по себе являются информацией). Любая система начинает вести себя по-новому, если ее информационные потоки изменяются. Пример тому — политика *гласности* в Советском Союзе. Простое открытие информации, которая долгие годы была закрытой, привело к такому быстрому преобразованию Восточной Европы, которого никто не ожидал. Старая система была построена на жестком контроле над информацией. Как только этот контроль был снят, структура всей системы изменилась. (Это происходило бурно и непредсказуемо, но было неизбежно.)

Второе ключевое свойство состоит в том, что системы из всех сил сопротивляются изменениям в информационных потоках, особенно в том, что касается правил и целей. Это неудивительно, ведь те, кто получает выгоду от системы в ее теперешнем виде, активно противятся изменениям, которые могут уменьшить эту выгоду. Сложившиеся политические, экономические и религиозные силы могут полностью парализовать попытки отдельных людей или малочисленных групп действовать по новым правилам или стремиться к целям, которые отличаются от текущих правил и целей системы. Все новое (и людей, которые это новое предлагают) система может игнорировать, изолировать, высмеивать; идеи и предложения — замалчивать, вплоть до прямого запрета на публичные выступления и распространение информации. Система может все это подавить, причем не только в переносном смысле, но и в прямом.

Однако даже сами по себе те, кто предлагает изменения, уже могут вызвать определенное преобразование системы — просто за счет того, что вслух будет высказана мысль о необходимости новой информации, новых правил, новых целей. Начнется обсуждение, и появятся первые попытки что-то сделать. Этот момент очень хорошо отмечен в высказывании, которое часто приписывают Маргарет Мид: «Никогда не сомневайтесь в том, что маленькая группа думающих граждан может изменить мир. На самом деле только так это и происходит».

Мы на собственном опыте узнали, насколько сложно вести умеренный образ жизни в мире, который ожидает от нас потребления, навязывает и поощряет его. И все же даже отдельный человек может далеко продвинуться на пути к умеренности. Очень нелегко бережно расходовать энергию, если экономика производит энергетически неэффективную продукцию. Однако даже отдельный человек может найти, а при необходимости и придумать более эффективные способы использования энергии, и в результате они станут более доступными для других.

Самое главное: очень трудно донести новую информацию до системы, которая настроена принимать только старую. Попробуйте, к примеру, публично задать вопрос о том, нужен ли дальнейший рост, или заговорите о различиях между ростом и развитием, и вы на себе почувствуете, что мы имеем в виду. Чтобы стронуть с места устоявшуюся систему, нужны отвага и умение четко излагать свои мысли. Но сделать это можно.

Мы искали разные способы вызвать мирное изменение структуры системы, которая, естественно, пытается противостоять любым

преобразованиям, и перепробовали разные инструменты. Самые очевидные из них уже были упомянуты в этой книге: рациональный анализ, сбор данных, системное мышление, компьютерное моделирование и максимально четкое изложение идей. Этими методами может легко овладеть любой человек, имеющий хотя бы минимальную естественнонаучную или экономическую подготовку. Как и переработка и повторное использование, все они полезны, необходимы, но недостаточны.

Мы не знаем, *что* будет достаточным. Но в конце этой главы хотели бы перечислить еще пять инструментов, в полезности которых убедились лично. Впервые мы предложили и обсудили этот список в издании 1992 г. Опыт, накопленный с тех пор, подтвердил, что эти пять способов необходимо использовать — они действенны в любом обществе, которое надеется существовать продолжительное время. Мы снова приводим их в последней главе, уже в новом издании, как способы, которые помогут перейти к устойчивости — *не единственно возможные, но действующие*.

В 1992 г. мы сказали, что испытывали сомнения, обсуждать ли их вообще, поскольку не были экспертами в области их применения и поскольку не так-то легко подбирать для этого правильные слова, ведь профессорам и ученым свойственна академическая манера изложения. Слова и фразы казались нам слишком «ненаучными», чтобы циничная публика приняла их всерьез.

Так что же это за пять способов, из-за которых нам пришлось преодолевать собственную нерешительность? Вот они: умение видеть, создание групп единомышленников, правдивость, обучение и любовь.

Этот список выглядит наивно, особенно в сравнении со сложностью изменений, которые предстоит сделать. Однако каждый из пяти пунктов участвует в целой сети из циклов положительной обратной связи. Поэтому их последовательное сознательное применение, пусть даже все начнется с относительно маленькой группки людей, в конце концов может привести к огромным изменениям. В том числе и к глубинному изменению существующей системы — возможно, к той самой революции, о которой мы говорили.

«Переход к устойчивому обществу можно облегчить и ускорить, — говорили мы в 1992 г., — просто за счет более частого использования подобных слов и понятий в обмене информацией во всем мире. Использовать их надо искренне, и за это вовсе не нужно извиняться». Но даже мы сами извинялись, зная, как большая часть людей воспримет наши слова...

Многие из нас испытывают неловкость от обсуждения таких «мягких» способов, когда на кону стоит будущее всей цивилизации.

Проблема еще и в том, что люди точно не знают, как заставить их действовать и в себе самих, и в окружающих. Поэтому разговор переводится на другие темы: повторную переработку, борьбу с выбросами загрязнений, защиту дикой природы, другие меры... Они необходимы, но недостаточны для перехода к устойчивому развитию, и все же мы прибегаем именно к ним, так как эти темы не вызывают ощущения неловкости.

Так давайте же поговорим именно об этих пяти способах. Мы пока не знаем, как их использовать, но овладеть ими человечеству надо быстро.

### Умение видеть

Уметь видеть — значит представить себе сначала в общих чертах, а затем все более подробно, то, чего мы хотим добиться на самом деле. Именно то, что *«хотим на самом деле»*, а не то, что кто-то нам внушил хотеть, или то, что мы сами научились хотеть. Суметь увидеть — значит отбросить препятствия к осуществлению, неверие и прошлые разочарования, дать воображению погрузиться в самые благородные, возвышенные, сокровенные мечты.

Некоторые люди, в особенности молодежь, погружаются в такие мечты с легкостью. Другим подобное погружение может показаться пугающим или болезненным, потому что сравнение идеальной картины, того, что *«могло бы быть»*, с тем, что есть на самом деле, может оказаться невыносимым. Некоторые люди ни за что не признаются в своих мечтах, потому что боятся прослыть непрактичными и нереалистичными. Другие, кто уже имел негативный опыт, вам тут же объяснят, что такие мечты несбыточны в принципе. На самом деле в этом нет ничего плохого — скептики тоже нужны, они уравнивают мечтателей.

Для скептиков сразу же оговоримся: мы вовсе не считаем, что мечты автоматически претворяются в жизнь. Умение видеть без конкретных дел совершенно бесполезно. Но и деятельность без умения видеть тоже не имеет смысла — она бесцельна и хаотична. Умение видеть абсолютно необходимо в качестве направляющей, мотивирующей, движущей силы. Более того, если удастся добиться совместного видения, когда многие люди разделяют одну и ту же мечту, это *действительно приводит к возникновению новых систем*.

Мы говорим это в самом что ни на есть буквальном смысле. В рамках пространства, времени, материи и энергии умение видеть позво-

ляет создавать не только новую информацию, новые циклы обратных связей, новые модели поведения, новые знания и технологии, но и новые физические структуры, новые организации, новые движущие силы в обществе. Ральф Уолдо Эмерсон признал эту глубокую истину еще 150 лет назад:

---

«Каждая нация и каждый человек немедленно окружают себя материальными предметами, которые точно соответствуют их моральному состоянию или образу мыслей. Смотрите, как каждая истина и каждая ошибка, каждая мысль в чьей-нибудь голове приобретают форму обществ, зданий, городов, языков, церемоний, газет. Посмотрите, что за идеи сейчас царят... Смотрите, как каждая из этих абстракций воплотилась в виде внушительного социального аппарата, и, словно древесина, кирпич, известняк или камень, приняла удобную форму, повинувшись главной идее, царящей в умах многих людей...

Из этого, разумеется, следует, что малейшее изменение в человеке вызовет и изменение окружающих обстоятельств; малейшее распространение его идей по отношению к другим... может вызвать просто поразительные изменения в окружающих вещах»<sup>\*</sup>.

---

Устойчивый мир никогда не удастся построить, если не представить себе его в воображении. Многие люди должны начать видеть — только тогда это видение будет целостным и совершенным. Чтобы призвать других людей присоединиться к этому процессу, мы приводим список того, о чем мечтали и что сумели увидеть мы сами, размышляя об устойчивом обществе, в котором хотелось бы жить нам самим. Мы рассказываем об этом только для того, чтобы вы могли развить эти идеи и добавить что-то свое.

- Устойчивость, эффективность, достаточность, справедливость, красота и общность — наивысшие ценности общества.
- Материальная достаточность и безопасность должны распространяться на всех. Низкая рождаемость и стабильная численность населения должны быть результатом и личного выбора, и норм, принятых в обществе.
- Работа и труд призваны облагораживать, а не унижать людей. Общество должно поощрять людей трудиться на благо всех, каждому гарантировать достойную жизнь, как бы ни сложились обстоятельства.

---

<sup>\*</sup> См. материалы лекции: *Emerson R. W. Lecture on «War»*. Прочитана в Бостоне, в марте 1838 г. Репринтное издание: *Emerson's Complete Works*. V. 11. Boston: Houghton Mifflin, 1887. С. 177.

- Лидеры должны быть честны, разумны, скромны, вызывать уважение и быть больше заинтересованы в выполнении своей работы, чем в сохранении своего положения. Их должно больше заботить, как послужить обществу, а не как выиграть следующие выборы.
- Экономика должна быть средством, а не целью деятельности. Ее задача — служить на благо человеческого общества и окружающей среды, а не наоборот.
- Энергетические системы должны быть эффективными и основываться на возобновимых источниках.
- Системы материального производства должны быть эффективными и замкнутыми.
- Следует применять технические решения, которые снижают выбросы и отходы до минимума. В обществе должно быть принято правило: не производить выбросы и отходы, с которыми не могут справиться технологии и природа.
- Сельское хозяйство должно основываться на самовосстановлении: поддерживать плодородие почв, использовать естественные способы восполнения питательных веществ и борьбы с вредителями, и за счет этого производить экологически чистые продукты питания в достаточном количестве.
- Экосистемы во всем их разнообразии необходимо защищать, и человеку следует жить в гармонии с ними; тогда многообразными будут и природа, и культура, чтобы человек мог наслаждаться и тем и другим.
- Система должна быть гибкой, давать место социальным и техническим новшествам и интеллектуальному совершенствованию. Наука должна процветать и развиваться, постоянно увеличивая запас человеческих знаний.
- В образовании каждого человека большое внимание должно уделяться пониманию поведения систем, системному мышлению.
- Экономические силы должны быть децентрализованными, равно как политические течения и научные исследования.
- Политические структуры должны принимать во внимание как краткосрочные, так и долгосрочные цели, учитывая, что после нас будут жить наши дети и внуки.
- Конфликты и противоречия должны разрешаться ненасильственными способами. Для этого необходим высокий профессионализм правительств и высокие моральные качества граждан.



- Средства массовой информации должны отображать все многообразие мира и в то же время объединять различные культуры, предоставляя достоверную, точную, непредвзятую, своевременную и содержательную информацию, подавая ее в историческом контексте и с системной точки зрения.
- Цель жизни состоит не только в накоплении вещей и материальных благ. Люди заслуживают лучшей судьбы.

### Создание групп единомышленников

Мы не смогли бы провести свое исследование, не имея связей с единомышленниками. Большинство таких связей — неформальные. Это сообщества, у которых маленький бюджет или вовсе нет бюджета, и в списках всемирных организаций они вряд ли значатся<sup>\*</sup>. Они практически незаметны, но результатов добиваются вполне реальных. Неофициальные сообщества распространяют информацию практически так же, как официальные организации, а иногда и эффективнее. В них зарождается новая информация, из них могут развиваться новые системные структуры<sup>\*\*</sup>.

Некоторые из таких организаций — местные, некоторые — международные. С одними участниками связь поддерживается электронными средствами, с другими мы встречаемся лично каждый день. Какую бы форму ни принимали такие связи, они объединяют людей, которые имеют сходные интересы в определенной сфере жизни, постоянно находятся в курсе дела и распространяют данные, методы, идеи, устремления, уважают и с удовольствием общаются друг с другом. Одна из важнейших задач, которую выполняют сообщества единомышленников, — напомнить людям, что они не одиноки.

<sup>\*</sup> Авторам известны многочисленные примеры объединения единомышленников в сообщества. В нашей области знаний это: Балатонская группа (Balaton Group, [www.unh.edu/ipssr/Balaton.html](http://www.unh.edu/ipssr/Balaton.html)), Северо-восточная ассоциация органического земледения (Northeast Organic Farming Association, NOFA), Центр «За новую американскую мечту» (Center for a New American Dream, CNAD; [www.newdream.org](http://www.newdream.org)), сообщества Greenlist ([www.peacestore.us/Public/Greenlist](http://www.peacestore.us/Public/Greenlist)), Greenclips ([www.greenclips.com](http://www.greenclips.com)), альянсы Northern Forest Alliance ([www.northernforestalliance.org](http://www.northernforestalliance.org)), Land Trust Alliance ([www.lta.org](http://www.lta.org)), Ассоциация игр и имитационного моделирования (International Simulation and Gaming Association, ISAGA; [www.isaga.info](http://www.isaga.info)), сообщество Leadership for Environment and Development (LEAD).

<sup>\*\*</sup> В качестве промежуточного этапа можно привести Всемирный совет экологических инициатив (ICLEI) — международную ассоциацию местных муниципалитетов (на данный момент их объединилось около 450), которые стремятся применять принципы устойчивого развития. См. материалы на сайте [www.iclei.org](http://www.iclei.org).



Такие организации не имеют иерархии и уровней подчинения. Это сеть связей между равными участниками, которых вместе держит не сила, не принуждение, не материальные соображения или социальный договор, а общие ценности и понимание того, что некоторые задачи в одиночку решить невозможно.

Мы знаем, что существуют содружества фермеров, использующих органические методы борьбы с сельскохозяйственными вредителями. Есть группы журналистов, профессионально работающих в области окружающей среды, «зеленых» архитекторов и строителей, специалистов по компьютерному моделированию, создателей игр, объединения землевладельцев и землепользователей, потребительские кооперативы. Существуют многие тысячи организаций, которые объединяют людей с общими интересами и целями. Некоторые сообщества ведут такую активную деятельность и занимаются настолько важными проблемами, что переходят в разряд официальных организаций, имеющих штаб-квартиры и собственные бюджеты. Но основная масса все-таки остается неформальной, такие сообщества появляются и исчезают по мере необходимости. Появление сети Интернет облегчило их создание и поддержание связи между участниками.

Организации, посвященные устойчивости как на локальном, так и на глобальном уровне, играют особую роль в создании устойчивого общества, которое будет гармонично вписываться в локальные экосистемы при одновременном соблюдении глобальных пределов. Про местные сообщества нам почти нечего сказать, ведь те, которые есть у нас, слишком сильно отличаются от тех, что есть у вас, и наоборот. Одна из задач местных организаций — помочь людям заново ощутить социальное единство и привязанность к родным местам. К сожалению, эти чувства были практически утрачены в обществе со времен промышленной революции.

Что же касается мировых неформальных организаций, то мы бы очень хотели, чтобы они стали по-настоящему глобальными. Возможности участия в международном обмене информацией распределены в мире так же неравномерно, как средства производства. В одном Токио телефонов больше, чем во всей Африке. И еще больше разница в оснащении компьютерами и факсами, доступности линий воздушного сообщения, распределении приглашений на международные встречи. Но даже здесь человеческая изобретательность нашла выход: появились всемирная сеть и недорогие средства доступа.

Кто-нибудь может сказать, что у Африки и других стран, недостаточно представленных на мировой арене, есть гораздо более насущ-

ные проблемы, чем установка компьютеров или получение доступа в Интернет. Мы не согласны с таким мнением. Никто не узнает о потребностях наименее развитых стран мира, да и мир не сможет взаимовыгодно сотрудничать с ними, если не будет налажена оперативная связь. Некоторые из самых больших достижений в экономии сырья и повышении эффективности энергии были получены только за счет средств коммуникации. В пределах устойчивого экологического следа каждый должен иметь возможность поддерживать международные и местные связи и участвовать в неформальных сообществах. Пора уже убрать «цифровой железный занавес».

Если вас интересуют вопросы перехода к устойчивому развитию, можно найти или организовать собственное сообщество единомышленников, разделяющих ваши интересы. Это поможет выяснить, где можно найти нужную информацию, какие существуют методы, какие материалы были опубликованы, где получить финансовую поддержку, какое содействие могут оказать власти и кто может помочь с решением конкретных проблем. Хорошие связи между единомышленниками не только помогают вам учиться, но и позволяют передать ваши знания другим.

## Правдивость

Мы верим в истину ничуть не больше, чем другие. Но мы чаще распознаем ложь. Бóльшая ее часть — намеренная. Что это ложь, знает не только тот, кто ее произносит, но чаще всего и те, кто ее выслушивает. Ложь часто используют для того, чтобы манипулировать людьми, заговорить кому-то зубы, переманить на свою сторону, выиграть время, оправдать эгоистичные действия, добиться власти или сохранить ее в своих руках, опровергнуть неприглядные факты...

Ложь искажает информационные потоки. Ни одна система не будет нормально работать, если ее потоки информации лживы. Один из самых важных принципов в системной теории состоит в том, что информация не должна искажаться, замалчиваться или запаздывать (и мы надеемся, что из нашей книги уже понятно почему).

«Все человечество будет в опасности, — сказал Бакминстер Фуллер, — если каждый из нас не отважится отныне говорить только правду — *всю* правду. И начать надо как можно раньше: прямо сейчас»\*. Когда бы и с кем бы вы ни говорили — на улице, на работе, обращаясь к аудитории или к отдельному человеку, особенно к ребен-

\*

Цит. по источнику: *Fuller R. B. Critical Path. New York: St. Martin's Press, 1981.*

ку, — вы должны стараться разоблачать ложь и поддерживать правду. Опровергайте идею о том, что чем больше вещей накопил человек, тем он лучше. Высказывайте сомнение в том, что чем больше получают богатые, тем больше это поможет бедным. Чем больше лжи вы сумеете разоблачить, тем лучше станет управление обществом.

Далее мы перечислим некоторые распространенные предубеждения и упрощения, словесные ловушки, часто встречающиеся лживые утверждения, с которыми нам довелось столкнуться при обсуждении пределов роста. Нам кажется, что на эти заблуждения надо открыто указывать, чтобы их можно было избежать. Человек должен иметь ясное представление о мировой экономике и о том, как она взаимодействует с планетой, имеющей физические границы.

*Неверно:*

Предупреждение о будущем — это предсказание катастрофы.

*Верно:*

Предупреждение о будущем — это рекомендация пойти другим путем.

*Неверно:*

Окружающая среда — это роскошь, пользующийся спросом товар или удобство, которое люди купят, если смогут себе это позволить.

*Верно:*

Окружающая среда — это источник жизни и основа любой экономической системы. Опросы общественного мнения обычно показывают, что люди согласны платить больше, лишь бы только среда была здоровой.

*Неверно:*

Любое изменение требует жертв, поэтому их надо избегать любой ценой.

*Верно:*

Изменения — это вызов, и они необходимы.

*Неверно:*

Если прекратится рост, бедняки навсегда останутся в нищете.

*Верно:*

Бедняки остаются бедными из-за неумной жадности и безразличия богатых. Беднякам нужно, чтобы богатые изменили свое отно-

шение к ним, тогда они смогут воспользоваться ростом, специально ориентированным на их нужды.

*Неверно:*

Необходимо, чтобы каждый имел материальный достаток на уровне богатейших стран мира.

*Верно:*

Поднять потребление настолько, чтобы каждый житель планеты имел тот же уровень материального достатка, каким сегодня наслаждаются богатые, невозможно физически. Должны быть удовлетворены *принципиальные* материальные потребности каждого. Они должны удовлетворяться только на таком уровне, который возможен для всех, при условии, что экологический след не выйдет за пределы допустимого.

*Неверно:*

Любой рост хорош по определению, независимо от его типа или последствий.

*Неверно:*

Любой рост плох.

*Верно:*

То, что на самом деле нужно, — не рост, а развитие. Если развитие требует физического расширения, его следует ограничивать, поддерживать в рамках устойчивости, учитывая все реальные затраты и расходы.

*Неверно:*

Технология способна решить все проблемы.

*Неверно:*

Технология не способна решить проблемы — наоборот, она их создает.

*Верно:*

Необходимо поощрять технологии, которые позволяют уменьшить экологический след, увеличить эффективность, сберечь ресурсы, усовершенствовать информационные сигналы, покончить с не разумным расходом ресурсов.

*И еще:*

Мы должны решать свои проблемы как человеческие существа, поэтому не стоит заикливаться на одних только технологиях.

*Неверно:*

Рыночная система автоматически обеспечит нам счастливое будущее, которого мы так желаем.

*Верно:*

Прежде всего необходимо определить, какое именно будущее мы желаем. И только затем можно использовать рыночную систему (как и многие другие организационные и управленческие методы), чтобы достичь этой цели.

*Неверно:*

Промышленность — причина всех проблем или панацея от всех бед.

*Неверно:*

Правительство — причина всех проблем или панацея от всех бед.

*Неверно:*

Экологи — причина всех проблем или панацея от всех бед.

*Неверно:*

Любая другая группа людей (на ум сразу же приходят экономисты) — причина всех проблем или панацея от всех бед.

*Верно:*

Все люди и организации играют свою роль в рамках сложной системной структуры. В системе со структурой, определяющей стремление к выходу за пределы, все участники вольно или невольно вносят свой вклад в это стремление. В системе, структура которой поощряет устойчивость и самоподдержание, промышленность, правительство, экологи и в особенности экономисты будут играть важную роль в поддержании устойчивости.

*Неверно:*

Безысходный пессимизм.

*Неверно:*

Безудержный оптимизм.

*Верно:*

Решимость говорить правду об успехах и неудачах сегодняшнего дня, о перспективах и препятствиях в будущем.

*И тем более:*

Мужество признать и перенести беды современного мира, настойчивое старание сделать будущее лучше.

*Неверно:*

Модель *World3* (да и любая другая модель) однозначно верна или однозначно неверна.

*Верно:*

Все модели, включая и те, что заложены в наших головах, в чем-то правы, во многом слишком упрощены и по большей части неправильны. Что мы можем сделать, чтобы проверить наши модели и выяснить, в чем именно они правы, а в чем нет? Как специалистам по моделированию найти общий язык и разговаривать с уважением и долей здорового скептицизма? Как перестать играть друг с другом в «верно/неверно» и «прав/неправ» и разработать методы проверки моделей на адекватность, соответствие реальному миру?

Последний пункт (насчет проверки моделей) подводит нас к теме обучения.

## **Обучение**

Умение видеть, создание групп единомышленников и правдивость будут бесполезны, если не предпринимать продуманных действий. Чтобы прийти к устойчивому миру, очень многое надо *сделать*. Создать новые методы ведения сельского хозяйства. Развить новые виды деятельности и изменить уже имеющиеся, чтобы уменьшить нагрузку на окружающую среду. Восстановить земли, защитить парки, преобразовать энергетические системы, разработать международные соглашения. Одни законы принять, другие отменить. Необходимо учить детей, да и взрослых тоже. Нужно снимать фильмы, исполнять музыку и публиковать книги, создавать сайты, консультировать людей, создавать группы, отменять субсидии, развивать показатели устойчивости, отражать в ценах на продукцию все составляющие расходов...

Любой человек может найти себе подходящее дело, и мы сами вовсе не претендуем на исключительную роль. Мы лишь хотим предложить: если вы делаете что-то, делайте это скромно, не на публику. Не провозглашайте лозунгов, просто экспериментируйте и набирайте собственный опыт. Используйте каждое свое действие, чтобы научиться чему-то новому.

Человеческое невежество гораздо глубже, чем кто-либо из нас готов признать. Это именно так, а ведь сейчас мировая экономика становится интегрированной больше, чем когда-либо ранее, поистине глобальной. Она выходит за пределы необычайно сложной планеты,

и сейчас нам необходимы совершенно иные пути мышления. В такое время никто не обладает достаточными знаниями. Даже лидеры, какими бы авторитетными они ни были, не в состоянии досконально разобраться в ситуации. Ни одну политику нельзя автоматически распространить на все страны мира. Если вы не можете позволить себе проиграть, не играйте в азартные игры.

Обучение означает готовность продвигаться вперед медленно, экспериментируя, собирая информацию о последствиях действий, включая чрезвычайно важные, хотя и не всегда приятные сообщения о том, что что-то не сработало. Никто не может учиться, не допуская ошибок, не признавая их, не исправляя и не двигаясь дальше. Учиться — значит искать новые направления с решимостью и отвагой, быть готовым принять результаты тех, кто пошел своим путем, и при необходимости сменить дорогу, если кто-то нашел более короткий и прямой маршрут к цели.

Мировые лидеры утратили привычку учиться самим и давать учиться другим. Так уж сложилась политическая система: избиратели ожидают, что у лидеров есть ответы на все вопросы; лидерами выбирают только небольшое количество людей; их быстро смещают, если они предлагают непопулярные меры или прибегают к неприятным средствам. Такая извращенная система подрывает лидерские способности людей и способность руководителей учиться.

Сейчас настало самое подходящее время, чтобы высказаться по этой теме правдиво. Мировые лидеры знают об устойчивом обществе и переходе к нему не больше нас с вами. Большинство из них вообще не подозревает, что это необходимо. Переход к устойчивому развитию от каждого человека требует быть обучающим лидером на определенном уровне, от семьи до сообщества соседей, от отдельной страны до мира в целом. И от каждого из нас требуется поддержка другим лидерам, чтобы они могли действовать, несмотря на недостаток и неточность информации, проводить честные исследования и открыто признавать ошибки.

Никто не может научиться чему бы то ни было, не имея терпения и умения прощать. Но в условиях выхода за пределы для терпения и прощения времени у нас не так-то много. Чтобы найти правильное равновесие между назревшей необходимостью и терпением, между ответственностью за свои действия и умением прощать ошибки, необходимы ясный разум, честность, скромность, сочувствие и — это слово описывает самое глубокое чувство, которого так не хватает в этом мире, — любовь.

## Любовь

В современной механистической культуре не принято говорить о любви — лишь иногда и только в самом романтическом или банальном смысле этого слова. Любого, кто попытается обратиться к чувствам братской или сестринской любви, любви к человечеству в целом, к природе и колыбели нашей цивилизации — планете Земля, — скорее всего, просто засмеют, и уж точно не примут всерьез. Ключевое различие между оптимистами и пессимистами — их мнение насчет способности людей действовать слаженно благодаря любви. В обществе, которое поощряет индивидуализм, постоянно поддерживает конкурентную среду и ориентируется на краткосрочные цели, подавляющее большинство людей — пессимисты.

Мы считаем, что индивидуализм и недалёковидность — самые серьезные проблемы современной социальной системы, и это глубинная причина неустойчивости. Любовь и участие — гораздо более привлекательная альтернатива, если их признать и придать им социальный статус. Культура, которая не верит в человеческие качества, не обсуждает и не развивает их в людях, в этом отношении сильно страдает. «Насколько хорошее общество может создать человеческая натура? — спрашивал психолог Абрахам Маслоу. — И насколько хорошего человека может создать общество?»\*

Переход к устойчивому развитию должен быть, прежде всего, коллективным преобразованием, которое развивает лучшие, а не худшие стороны человеческой природы. Многие уже поняли, что это необходимо и что это возможно. Еще в 1932 г. Джон Мейнард Кейнс писал:

---

«Нужда, бедность и экономическая борьба между классами и странами — отвратительная возня, никому не нужная и абсолютно бессмысленная. У западного мира уже достаточно технологий и ресурсов. Теперь нам бы только научиться использовать их так, чтобы уменьшить и перевести на второй план Экономическую Проблему, которая сейчас поглощает всю нашу физическую и духовную энергию...

И тогда настанет день, когда Экономическая Проблема переместится на последнее место, где ей и надлежит быть, и... тогда наши сердца и умы будут заняты... истинными проблемами — проблемами жизни, человеческих отношений, творчества, образа действий и веры»\*\*.

---

\* Цит. по книге: *Maslow A. The Farthest Reaches of Human Nature*. New York: Viking Press, 1971.

\*\* См.: *Keynes J. M.*, предисловие к работе: *Essays in Persuasion*. New York: Harcourt Brace, 1932.



Аурелио Печчеи, великий промышленный предприниматель, постоянно писавший о проблемах роста и пределов, экономики и окружающей среды, ресурсов и управления, никогда не забывал в заключение добавить, что решение мировых проблем начинается с «нового гуманизма». В 1981 г. он сформулировал свою точку зрения так:

---

«Гуманизм, созвучный нашей эпохе, должен заменить и преобразить принципы и нормы, которые мы до сих пор считали неприкосновенными, но которые стали неприменимыми или несовместимыми с нашими целями. Он должен помочь становлению новой системы ценностей, которая возродила бы наше внутреннее равновесие, и развить новые духовные, этические, философские, социальные, политические, эстетические и художественные устремления, которые заполнили бы пустоту нашей жизни. Он должен возродить в нас... любовь, дружбу, понимание, сплоченность, дух самопожертвования, умение разделять радость. Наконец, он позволит нам понять, что чем теснее эти качества связывают нас с другими формами жизни и с нашими братьями и сестрами во всем мире, тем больше мы от этого выигрываем»<sup>\*</sup>.

---

Не так-то просто проявлять любовь, щедрость, понимание, дружбу или сплоченность в системе, в которой правила, цели и информационные потоки ориентированы на самые неприглядные человеческие качества. Но мы пытаемся сами и призываем к этому же вас. Будьте терпимы к себе и другим, когда сталкиваетесь с трудностями изменяющегося мира. Проявляйте понимание и сочувствие, встречаясь с неизбежным сопротивлением. Такое сопротивление и приверженность к неустойчивости заложены в каждом из нас. Старайтесь найти лучшие человеческие качества в себе и других. Посмотрите, сколько цинизма вокруг, и проявите сочувствие к тем, кто верит в цинизм и не верит в себя.

Мир никогда не сможет уменьшить экологический след до устойчивого уровня, если эти попытки не будут основаны на глобальном партнерстве. Катастрофа неизбежна, если люди не научатся относиться к себе и другим как к частичкам единой, интегрированной глобальной системы. Сострадание нужно проявлять всегда, оно нужно здесь и сейчас, в любом месте и в любое время, в том числе и в далеком будущем. Человечество должно устремиться к тому, чтобы оставить будущим поколениям живую планету.

---

<sup>\*</sup>

Цит. по книге: *Peccei A. One Hundred Pages for the Future. New York: Pergamon Press, 1981. С. 184–185.*

Какие из идей, высказанных в этой книге, от большей эффективности использования ресурсов до большего сочувствия, можно воплотить в реальность? Может ли мир вернуться в пределы устойчивости и избежать катастрофы? Можно ли со временем уменьшить экологический след человечества? Достаточно ли у нас технологий, денежных средств, дисциплины, ответственности, предусмотрительности, умения видеть, свободы, чувства общности и любви в глобальном масштабе?

Из всех гипотетических вопросов, которые мы задали в этой книге, те, что перечислены только что, наверное, ответов не имеют, хотя многие люди претендуют на то, что знают их. Даже мы, авторы, можем не всегда сходиться во мнениях по этим темам — каждый имеет свою точку зрения. Привычка всегда жизнерадостно улыбаться, свойственная многим плохо информированным людям (особенно мировым лидерам), говорит о том, что для них все эти вопросы бессмысленны — в их понимании пределов вообще не существует. В то же время многие из тех, кто информирован хорошо, буквально заражены глубоким цинизмом и прячут его под маской жизнерадостности. Они вам скажут, что сейчас есть серьезные проблемы, что на горизонте их еще больше, они еще страшнее, поэтому нет никакого смысла пытаться их решить.

Подобные ответы, конечно же, основаны на мысленных моделях. Истины же не знает никто.

В этой книге мы много раз говорили, что мир сталкивается не с заранее предопределенным будущим, а с возможностью выбора. Это выбор между различными мысленными моделями, которые ведут к различным сценариям. Одна мысленная модель говорит, что для всех практических целей наш мир пределов не имеет. Выбор такой мысленной модели приведет к еще большему расширению принятых видов деятельности и к выходу экономической системы еще дальше за пределы. Результатом будет катастрофа.

Другая мысленная модель говорит, что пределы существуют, что они совсем рядом, что времени нет, что люди не смогут умерить свои аппетиты, проявить ответственность и сочувствие. Или смогут, но будет уже поздно. Эту модель легко воплотить в жизнь — она даже может воплотиться сама, если в нее поверить. Результатом тоже будет катастрофа.

Третья мысленная модель говорит, что пределы существуют, что они совсем рядом, а за некоторые из них мы уже вышли. Но при этом время у нас еще есть, если его не терять попусту. У нас достаточно энергии, сырья, денег. Способность среды к самовосстановлению еще не загублена. Наконец, у нас достаточно человеческих ка-

честв, чтобы претворить в жизнь плановое уменьшение экологического следа человечества, чтобы осуществить переход к устойчивому развитию и создать мир, который для большинства людей будет лучше, чем сегодняшняя действительность.

Такой сценарий тоже может оказаться неосуществимым. Однако наш опыт и данные, которые мы собрали — от мировой статистики до глобальной компьютерной модели, — говорят о том, что такой переход возможен. Чтобы проверить это, у нас нет другого способа, кроме как попытаться воплотить его в жизнь.

# Приложения

---

## Приложение 1

### Различия между моделями *World3* и *World3-03*

Чтобы получить сценарии, приведенные в этой книге, мы использовали обновленную версию компьютерной модели *World3-91*.

Модель *World3* была создана для использования в первой книге «Пределы роста», изданной в 1972 г. Детальное описание системы было полностью приведено в техническом отчете к нашему исследованию\*. Изначально модель была написана на языке программирования DYNAMO, но в 1990 г. уже был доступен другой язык, STELLA, предоставлявший более широкие возможности для анализа. Когда мы готовили сценарии для издания в 1992 г. второй книги «За пределами роста», исходную модель преобразовали из формата DYNAMO в формат STELLA и дополнили новыми данными — так появилась версия *World3-91*. Внесенные при этом изменения перечислены и довольно подробно описаны в приложении книги «За пределами роста»\*\*.

Готовя сценарии для книги, которую вы держите в руках, — уже третьей по счету, — мы слегка обновили модель *World3-91*. Итоговая модель называется *World3-03*, ее можно получить на компакт-диске\*\*\*. В расчет стоимости технологий были внесены три изменения;

---

\* См. материалы: *Meadows D. L. et al. Dynamics of Growth in a Finite World.* Cambridge, MA: Wright-Allen Press, 1974.

\*\* *Meadows D. H., Meadows D. L., Randers J. Beyond the Limits.* Post Mills, VT: Chelsea Green Publishing Company, 1992. Книга издана на русском языке, в том числе и упомянутое приложение: *Медоуз Д. Х., Медоуз Д. Л., Рэндерс Й.* За пределами роста. М.: Прогресс: Пангея, 1994. 304 с.

\*\*\* Чтобы получить информацию о том, как сделать заказ компакт-диска с моделью, обратитесь на сайт [www.chelseagreen.com](http://www.chelseagreen.com).

еще одна модификация усилила влияние промышленной продукции на желаемый размер семьи. Остальные изменения не влияют на поведение модели, а лишь помогают лучше понять его. Вот список модифицированных элементов системы.

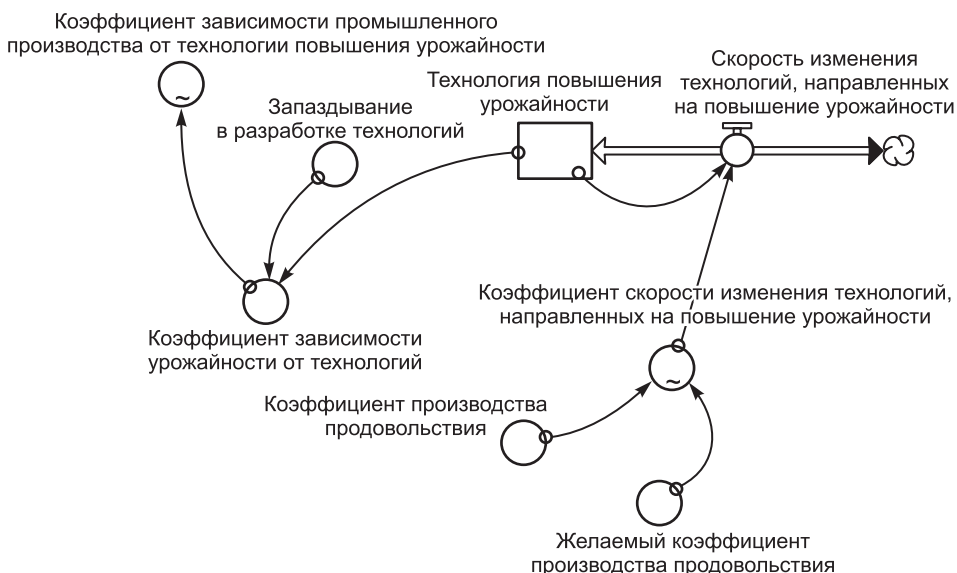
- Изменился определитель капитальных затрат на новые технологии в трех секторах экономики. Капитальные затраты должны определяться технологией, которая *практически применяется*, а не технологией, которая *потенциально доступна*. Это касается секторов ресурсов, загрязнения и сельского хозяйства.
- Изменился вид таблицы в демографическом секторе модели. Теперь желаемый размер семьи существенно меняется в ответ на высокий уровень производства промышленной продукции на душу населения.
- Появилась новая переменная, *показатель благосостояния человека* — это индикатор благосостояния среднестатистического жителя планеты. Определение этого показателя приводится в приложении 2.
- Появилась новая переменная, *экологический след* — показатель суммарного воздействия на окружающую среду со стороны человечества. Определение этого показателя также приводится в приложении 2.
- Изменен масштаб графика численности населения, чтобы диаграммы стали проще для восприятия.
- Появились дополнительные диаграммы, на которых отображены значение показателя благосостояния человека и величина экологического следа в период с 1900 по 2100 г.

Чтобы читателю было удобнее, для новых структур, добавленных в модель, далее мы приводим потоковые диаграммы на языке STELLA и описываем масштаб графиков, которые характеризуют сценарии. Полный список уравнений на языке STELLA и другая информация технического характера приведены на компакт-диске.

### Новые структуры в модели World3-03

На схеме 10 показана потоковая диаграмма на языке STELLA для структуры, ответственной за создание новых технологий. Для удобства названия даны на примере технологии повышения урожайности. Подобные же структуры используются в секторе ресурсов и загрязнения окружающей среды.

Когда переменная модели, которая называется «коэффициент производства продовольствия» (продовольствие на душу, деленное на минимальное душевое количество продовольствия, необходимое



### Схема 10. Подсистема, описывающая создание новых технологий

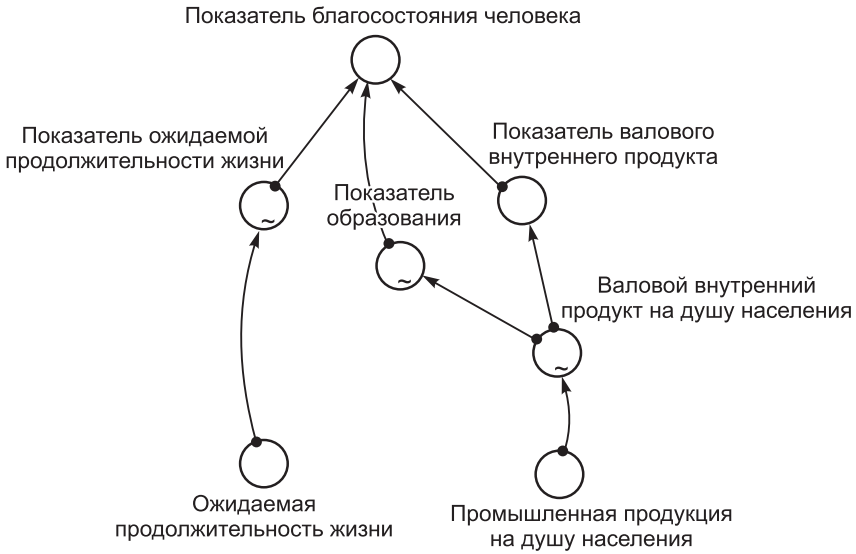
для выживания), падает ниже желаемого уровня, модель *World3* начинает развивать технологии, чтобы повысить продуктивность земель. Аналогичным образом новые технологии появляются тогда, когда количество ресурсов на единицу промышленной продукции превышает желаемый уровень, а также когда загрязнение окружающей среды на единицу продукции превышает предпочтительное значение.

На схеме 11 показана потоковая диаграмма на языке STELLA для показателя благосостояния человека — HWI (Human Welfare Index). Заложенные в показатель составляющие описаны в приложении 2.

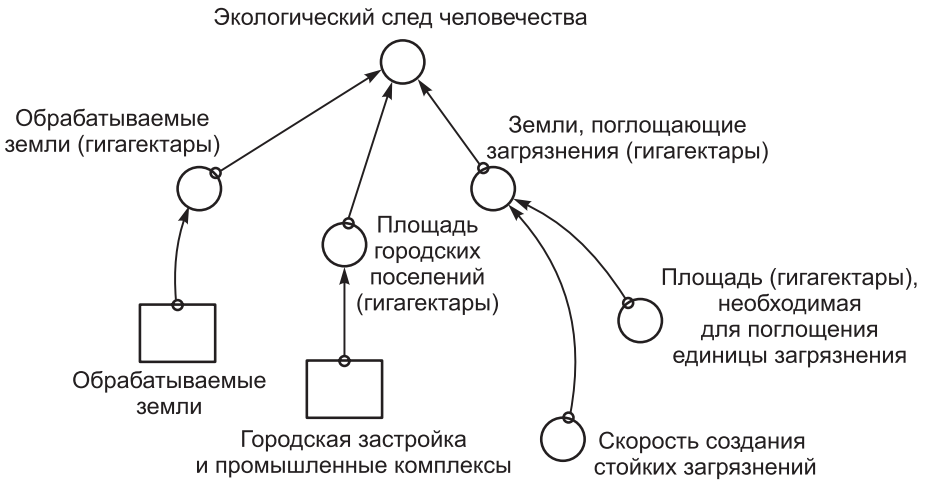
На схеме 12 показана потоковая диаграмма на языке STELLA для экологического следа человечества — HEF (Human Ecological Footprint). Заложенные в показатель составляющие описаны в приложении 2.

## Масштабы диаграмм в сценариях модели *World3-03*

Графики 11 переменных модели *World3* распределены по трем диаграммам, которые сопровождают каждый сценарий в этой книге. Численные значения на вертикальных осях графиков не указаны намеренно, чтобы подчеркнуть, что конкретные величины в каждом сценарии не принципиальны. Масштаб диаграмм в этом прило-



**Схема 11.** Подсистема, описывающая связи и влияние показателя благосостояния человека



**Схема 12.** Подсистема, включающая связи и влияние экологического следа человечества

жении приводится для тех читателей, которым интересны технические аспекты моделирования. Наши 11 переменных имеют разные шкалы, но масштаб всех графиков был одинаковым во всех приведенных в книге сценариях.

Диаграмма 1. Состояние мира

| Переменная                            | Минимальное значение | Максимальное значение |
|---------------------------------------|----------------------|-----------------------|
| Численность населения                 | 0                    | $12 \times 10^9$      |
| Суммарное производство продовольствия | 0                    | $6 \times 10^{12}$    |
| Суммарное промышленное производство   | 0                    | $4 \times 10^{12}$    |
| Показатель стойких загрязнений        | 0                    | 40                    |
| Невозобновимые ресурсы                | 0                    | $2 \times 10^{12}$    |

Диаграмма 2. Материальный уровень жизни

| Переменная                               | Минимальное значение | Максимальное значение |
|------------------------------------------|----------------------|-----------------------|
| Продовольствие на душу населения         | 0                    | 1000                  |
| Потребительские товары на душу населения | 0                    | 250                   |
| Услуги на душу населения                 | 0                    | 1000                  |
| Ожидаемая продолжительность жизни        | 0                    | 90                    |

Диаграмма 3. Показатель благосостояния человека и экологический след

| Переменная                         | Минимальное значение | Максимальное значение |
|------------------------------------|----------------------|-----------------------|
| Показатель благосостояния человека | 0                    | 1                     |
| Экологический след человечества    | 0                    | 4                     |



## Приложение 2

### Показатель благосостояния человека и экологический след

#### Общая информация

Чтобы более предметно обсуждать будущее человечества на планете Земля, полезно определить два понятия: благосостояние человека и экологический след. Они описывают соответственно качество жизни среднестатистического жителя планеты (включая материальные и нематериальные составляющие) и суммарное воздействие со стороны человечества на окружающую среду и мировой запас ресурсов.

Общий смысл обоих понятий уловить нетрудно, но вот определить эти показатели численно — задача очень сложная. К тому же ограниченность доступных данных (статистика имеется далеко не за все годы) вынуждает нас использовать довольно грубые приближения в математических уравнениях и округлять параметры. В общем и целом благосостояние человека увеличивается, когда он больше удовлетворен своей жизнью, при том, что это не вызывает уменьшения благосостояния других людей. Экологический след возрастает при увеличении добычи ресурсов и выбросов загрязнителей, при деградации земель и уменьшении биоразнообразия, при условии, что в других областях человеческой деятельности в то же самое время не происходит снижения нагрузки на окружающую среду.

Чтобы показать, как используются два этих понятия, можно конечную цель человечества, как мы описали ее в этой книге, изложить другими словами: увеличить благосостояние человека, одновременно сведя экологический след к минимально возможному значению, и в результате оставаться в пределах устойчивости экосистемы (в рамках глобальной самоподдерживающей емкости) сколь угодно долго.

Аналитики приложили массу усилий к тому, чтобы создать содержательные показатели для благосостояния человека и оценки экологической нагрузки. ВВП на душу населения часто используется как самая простая характеристика благосостояния человека, несмотря на то, что такой подход имеет огромные недостатки. Модель *World2*<sup>\*</sup>, предшественница системы *World3*, использовала «показатель качества жизни» — *Quality of Life Index* — и по его поводу было много споров. В нем учитывались четыре составляющих: перенаселение, продовольствие, загрязнение и материальное потребление.

\*

См. книгу: *Forrester J. W. World Dynamics*. Cambridge, MA: Wright-Allen Press, 1971. Книга издана на русском языке: *Форрестер Дж. Мировая динамика*. М.: Наука, 1978. 167 с.

Рассмотрев все возможные варианты, мы выбрали количественные показатели, которые описаны далее — они лучше подходят для математических моделей. Вместо того чтобы создавать и вводить в модель собственные параметры и оценки, мы предпочли адаптировать к системе те из существующих показателей, что уже широко используются в мире.

**Индекс развития человеческого потенциала  
(в некоторых переводах — индекс гуманитарного развития,  
Human Development Index, HDI),  
используемый Программой ООН по развитию**

В качестве показателя благосостояния человека мы выбрали показатель развития человеческого потенциала HDI или, как его еще называют, индекс гуманитарного развития (ИГР). Его использует Программа ООН по развитию, и значения индекса рассчитаны для большинства стран, участвующих в программе, за многие годы. Показатели развития человеческого потенциала ежегодно публикуются в отчете *Human Development Report*<sup>\*</sup>. В 2001 г. в этом отчете Программа ООН по развитию дала следующее определение показателю HDI.

Показатель HDI — совокупный параметр, характеризующий развитие человеческого общества. В нем отражаются средние достижения в стране по трем основным направлениям человеческого развития:

- продолжительность жизни и здоровье населения (учитываются в виде ожидаемой продолжительности жизни на момент рождения);
- образование. Составляющие параметра — доля грамотных во взрослом населении (берется с коэффициентом  $\frac{2}{3}$ ) и совокупная доля населения со средним и высшим образованием (берется с коэффициентом  $\frac{1}{3}$ );
- материальный уровень жизни (учитывается в виде ВВП на душу населения с поправкой на курс доллара в соответствии с паритетом покупательной способности)<sup>\*\*</sup>.

Программа ООН по развитию рассчитывает показатель развития человеческого потенциала HDI как среднее арифметическое пере-

<sup>\*</sup> См. отчет Программы ООН по развитию: United Nations Development Program, Human Development Report 2001. New York and Oxford: Oxford University Press, 2001.

<sup>\*\*</sup> См. там же, с. 240.

численных трех составляющих (показателя ожидаемой продолжительности жизни, показателя образования и показателя ВВП).

Показатели ожидаемой продолжительности жизни и образования линейно возрастают с увеличением ожидаемой продолжительности жизни, распространением грамотности и образования различных уровней среди населения. Показатель ВВП растет с увеличением ВВП на душу населения. Однако в последнем случае Программа ООН по развитию предполагает, что ВВП на душу населения будет иметь меньшее влияние на показатель, если его значение превысит соответствующее значение на душу, достигнутое в восточноевропейских странах в 1999 г.\*

### **Показатель человеческого благосостояния в модели *World3***

В качестве численной характеристики благосостояния человека в модели *World3* используется переменная, которую мы называем показателем благосостояния человека (Human Welfare Index, HWI). Этот показатель — преобразование показателя развития человеческого потенциала HDI, используемого Программой ООН по развитию, в формат переменных, используемых моделью *World3*. Полученная в результате потоковая диаграмма на языке STELLA приведена в приложении 1, а ее подробное описание можно посмотреть в материалах *World3-03* на компакт-диске.

Показатель благосостояния человека в модели *World3* — это сумма показателей ожидаемой продолжительности жизни, образования и ВВП, деленная на три. Полученный в результате показатель благосостояния HWI возрастает с 0,2 (уровень 1900 г.) до 0,7 (уровень 2000 г.). Максимального значения на уровне 0,8 он достигает в самых успешных сценариях примерно к 2050 расчетному году. Значения 0,2, 0,7 и 0,8 соответствуют реальным показателям развития человеческого потенциала HDI в 1999 г. для Сьерра-Леоне, Ирана и республик Прибалтики соответственно.

Значение показателя благосостояния человека HWI в 1999 г. очень близко подходит к реальному значению показателя развития человеческого потенциала HDI, рассчитанному Программой ООН по развитию для того же года: в мире в среднем было получено значение 0,71\*\*.

\* Подробно методика расчета показателя развития человеческого потенциала HDI приводится там же. С. 239–240.

\*\* См. отчет: UNDP, Human Development Report 2000. New York and Oxford: Oxford University Press, 2000. С. 144.

### Экологический след (методика Матиса Вакернагеля)

Чтобы охарактеризовать влияние человека на окружающую среду, мы применили понятие экологического следа (ecological footprint, EF) — в 1990-х гг. его разработала группа Матиса Вакернагеля и предложила для широкого использования. Вакернагель с коллегами рассчитали экологический след для ряда стран\*, и в некоторых случаях вычисления проводились по данным разных лет, отражая изменение экологической нагрузки в отдельных странах со временем. Эта характеристика очень показательна и хорошо подходит для наших целей, к тому же Вакернагель заодно рассчитал экологический след всего человечества за период с 1961 по 1999 г.\*\* Рассчитанные величины экологического следа для большинства стран публикуются дважды в год в изданиях Всемирного фонда дикой природы\*\*\*.

Вакернагель определяет экологический след как площадь территорий, нужных для того, чтобы обеспечить всем необходимым человека с его современным стилем жизни. Экологический след рассчитывается в гектарах, в среднем по миру. Эти территории обеспечивают человека посевными площадями, пастбищами для скота, лесами, рыболовными зонами и пространствами под застройку, поддерживающими жизнь населения (жителей страны, региона, мира) и предоставляющими все необходимое для ведения привычного стиля жизни. Лесные площади рассчитываются исходя из необходимости поглощать диоксид углерода, который выбрасывается в окружающую среду при сжигании ископаемого топлива. Все типы земель затем пересчитываются в некий земельный эквивалент — площади со средней биологической продуктивностью. Количество таких «эквивалентных гектаров» вычисляется с помощью коэффициента пересчета, который пропорционален биологической продуктивности угодий — способности производить биомассу. Вакернагель предполагает расширить свою методику, чтобы включить в расчет территории, необходимые для разложения других загрязнений (прочих газов, токсичных отходов и т. п.), а также для учета круговорота пресной воды, но сделать это в четком и понятном виде пока не удалось.

\* См. работу: *Wackernagel M. et al. National Natural Capital Accounting with the Ecological Footprint Concept // Ecological Economics. 1999. 29. С. 375–390.*

\*\* См. данные: *Wackernagel M. et al. Tracking the Ecological Overshoot of the Human Economy // Proceedings of the Academy of Science. 99. № 14. Washington, DC, 2002. С. 9266–9271.* См. также рис. П.1 в предисловии авторов.

\*\*\* См. отчет: *World Wide Fund for Nature, Living Planet Report 2002. Gland, Switzerland: WWF, 2002.*

Биологическая продуктивность участка земли зависит от того, какие применяются технологии землепользования. Широкое применение химических удобрений обеспечивает гораздо больший урожай с гектара. Казалось бы, это должно приводить к снижению экологического следа (ведь сельскохозяйственных угодий потребуется меньше), но только если не учитывать дополнительные выбросы  $\text{CO}_2$ , вызванные производством этих химических удобрений. А для поглощения этого углекислого газа нужно гораздо больше площадей, чем было сэкономлено за счет повышения урожайности. Поскольку технологии непрерывно меняются, Вакернагель вносит изменения и в продуктивность земли — в соответствии со средним уровнем развития технологий в соответствующий момент\*.

Таким образом, экологический след возрастает, когда человечество занимает больше территорий для производства продовольствия и растительных волокон (хлопка, льна и т. п.) и когда увеличиваются выбросы углекислого газа. Даже если последние объемы выбросов уже не поглощаются лесами, а вместо этого накапливаются в атмосфере, экологический след — площадь территорий, которые необходимы для поглощения  $\text{CO}_2$ , как если бы он в атмосфере не накапливался, — все равно растет. Это наглядно показывает, что выход за пределы возможен и даже весьма вероятен, пока содержание парниковых газов не вынудит человечество изменить свое поведение и снизить нагрузку на среду.

### Экологический след человечества в модели *World3*

Чтобы характеризовать воздействия человека на окружающую среду, в модели *World3* мы применили показатель, который тоже называли экологическим следом. В английском варианте, чтобы отличать его от параметра, введенного Матисом Вакернагелем, показатель называется не EF, а HEF — Human Ecological Footprint, экологический след человечества. Показатель HEF представляет собой преобразование экологического следа, рассчитанного по методике Вакернагеля, в формат переменных, используемых моделью *World3*. Полученная в результате потоковая диаграмма на языке STELLA приведена в приложении 1, а ее подробное описание можно посмотреть в материалах *World3-03* на компакт-диске.

Экологический след человечества в модели *World3* складывается из трех составляющих: площадь обрабатываемых земель, используемых в сельском хозяйстве под посевы зерновых культур; площади

\*

Более подробно методика расчета экологического следа описана в отчете: World Wide Fund for Nature, Living Planet Report 2002. Gland, Switzerland: WWF, 2002. С. 30.

под застройку (городские территории и земли, на которых располагаются промышленные производственные комплексы, а также транспортная инфраструктура); площади земель, необходимых для поглощения загрязнений (рассчитываются пропорционально объемам выбросов стойких загрязнителей). Все территории измеряются в млрд га — гектарах,  $10^9$ -га.

Экологический след человечества переводится в безразмерный вид относительно уровня 1970 г., который принят за единицу, и в результате показатель HEF варьируется от 0,5 в 1900 г. до 1,76 в 2000 г., а в какие-то периоды даже превышает 3, что свидетельствует о крайней неустойчивости. Так происходит в некоторых сценариях, приводящих к выходу за пределы и катастрофе. В самых успешных сценариях экологический след человечества удастся удержать на уровне меньше 2 на протяжении большей части XXI столетия. Устойчивое значение показателя HEF, обеспечивающее самоподдержание, вероятно, составляет порядка 1,1 относительно уровня 1970 г. Оно было пройдено около 1980 г.

# Оглавление

---

|                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Посвящение . . . . .                                                                | 5   |
| Предисловие к русскому изданию . . . . .                                            | 6   |
| Обращение Д. Медоуза к российским читателям . . . . .                               | 10  |
| Предисловие авторов . . . . .                                                       | 12  |
| <b>Глава 1.</b> Выход за пределы. . . . .                                           | 29  |
| <b>Глава 2.</b> Движущая сила — экспоненциальный рост . . . . .                     | 46  |
| <b>Глава 3.</b> Пределы: источники и стоки . . . . .                                | 81  |
| <b>Глава 4.</b> Модель <i>World3</i> :<br>динамика роста в конечном мире . . . . .  | 173 |
| <b>Глава 5.</b> Возвращение к устойчивому состоянию:<br>озоновая история. . . . .   | 231 |
| <b>Глава 6.</b> Технология, рынок и выход за пределы . . . . .                      | 257 |
| <b>Глава 7.</b> Переход к устойчивой системе . . . . .                              | 293 |
| <b>Глава 8.</b> Что нужно, чтобы перейти<br>к устойчивому развитию . . . . .        | 324 |
| <b>Приложения.</b> . . . . .                                                        | 347 |
| Приложение 1. Различия между моделями<br><i>World3</i> и <i>World3-03</i> . . . . . | 347 |
| Приложение 2. Показатель благосостояния человека<br>и экологический след . . . . .  | 352 |

*Минимальные системные требования определяются соответствующими требованиями программы Adobe Reader версии не ниже 11-й для операционных систем Windows, Mac OS, Android, iOS, Windows Phone и BlackBerry; экран 10"*

*Научно-популярное электронное издание*

**Медоуз** Донелла  
**Рандерс** Йорген  
**Медоуз** Деннис

## **ПРЕДЕЛЫ РОСТА: 30 ЛЕТ СПУСТЯ**

Ведущий редактор *Ю. А. Серова*  
Художник *Н. А. Новак*  
Технический редактор *Е. В. Денюкова*  
Корректор *Е. Н. Клитина*  
Компьютерная верстка: *Н. Ю. Федоровская*

Подписано к использованию 19.09.14.

Издательство «БИНОМ. Лаборатория знаний»  
125167, Москва, проезд Аэропорта, д. 3  
Телефон: (499) 157-5272  
e-mail: [binom@Lbz.ru](mailto:binom@Lbz.ru), <http://www.Lbz.ru>



## **Дополнительное признание «Пределов роста» – обновление книги через 30 лет после первого издания.**

Эти 30 лет подтвердили: книга была пророческой. Последний цикл расчетов оставляет открытым только один вопрос: сможем ли мы стать внимательнее и осторожнее, чем были раньше? Мы в долгу перед авторами, особенно перед покойной Донеллой Медоуз. Для нее эта книга послужит лучше любой эпитафии.

Билл МакКиbben,  
эколог, автор книги «Конец природы»

Обновленное издание, вышедшее спустя 30 лет после первой книги, напомнило мне, что системный подход к планированию будущего не просто хорош, а обязателен для использования. Тридцать лет назад критики отмахивались от самой идеи пределов роста, отрицали их существование. Сегодня же, в современном мире, где рыболовецкая отрасль приходит в упадок, исчезают леса, снижается уровень грунтовых вод, становятся безжизненными коралловые рифы, пустыни захватывают все новые территории, температуры растут, почвы подвергаются эрозии, а природные виды навсегда исчезают с лица планеты, отрицать очевидное уже невозможно. Все мы должны быть признательны авторам «Пределов роста» за то, что они в очередной раз напомнили: времени у нас остается все меньше...

Лестер Браун,  
основатель и президент Института политики Земли, США

30 лет назад очень многие обвиняли доклад «Пределы роста» в нагнетании страха, распространении мрачных прогнозов, отрицании регулирующей роли цен и механизмов адаптации. Теперь же проблемы глобальной динамики, предсказанные в те годы, стали очевидными для всех. Необходимость изменений встала как никогда остро. Обновление книги выходит в свет очень вовремя: оно напоминает о необычайно действенных методах оценки будущего, чтобы мы могли создать его таким, каким хочется. В конце концов, есть на Земле разумная жизнь или нет? Если есть, тогда у нас есть основания для осторожного оптимизма.

Эймори Б. Ловинс,  
руководитель исследовательских работ,  
Институт Рокки Маунтин, США