

# МИРОВАЯ ДИНАМИКА

*Перевод с английского А. Ворощука и С. Иегова*

*Под редакцией Д. Гвишиани, Н. Моисеева*

*Серийное оформление А. Кудрявцева*

**Подписано в печать с готовых диапозитивов 21.05.03.**

**Формат 84x108<sup>X</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Печать офсетная.**

**Усл. печ. л. 20,16. Тираж 5100 экз. Заказ 1651.**

**Форрестер Д.**

Ф79 Мировая динамика: Пер. с англ. / Д. Форрестер. — М: ООО «Издательство АСТ»; СПб.: Terra Fantastica, 2003. — 379, [5] с. — (Philosophy).

ISBN 5-17-019253-3 (ООО «Издательство АСТ») ISBN 5-7921-0613-4 (Terra Fantastica)

Вторая половина XX века подвела черту в истории аналитики мироздания. В течение многих сотен лет человек создавал свод формул своего бытия и бытия мира, который окружает Homo Sapiens. В итоге к концу второго тысячелетия пашен эры мир стал информационно прозрачен, и пришло понимание невозможности простых соотношений, позволяющих однозначно описать мироздание. Для понимания основных тенденций развития требовалась модель мира.

И эта модель была представлена профессором Массачусеттского технологического института Джейм Форрестером, продемонстрировавшим инженерный подход к проблемам эволюции мира. Джей Форрестер подарил человечеству принципиально новое знание: мир вычисляем. Эпоха неспешных размышлений о моделировании мира закончилась, наступило время конструирования.

УДК 1/14 ББК 87

© Перевод. А. Ворощук, С. Пегов, 1978

© Послесловие, комментарии. Н. Моисеев, 1978

© Послесловие, комментарии.

Н. Ютанов, С. Переслегин. 2003 © Оформление.

ООО «Издательство АСТ», 2003 ©TERRA FANTAS.TICA

## ОТ РЕДАКЦИИ ИНЖЕНЕР МИРА

### ИЛИ ЭПОХА НЕРЕШИТЕЛЬНОСТИ

Здесь Форрестер призадумался. Была ли верна изначальная предпосылка? Являются ли компьютеры властелинами мира? И кто принимает фундаментальные решения?

*Фредерик Пол. «Эпоха нерешительности»*

В известной современной притче умирающий Альберт Эйнштейн просит Господа раскрыть ему Формулу Мира. Господь охотно встает к доске и скрипучим крошащимся мелком выводит на темной поверхности блистательное соотношение Истины Мироздания. А когда потрясенный вселенской красотой и простотой Эйнштейн робко замечает: «Господи, но у Тебя в восемнадцатой строке явная ошибка!..» Творец тихо отвечает ему: «Я знаю».

Вторая половина XX века подвела черту в истории аналитичного мира. В течение многих сотен лет человек искал, создавал свод формул своего бытия и бытия мира, окружающего его. Но к концу второго тысячелетия мир стал информационно прозрачен и пришло понимание невозможности простых квадратурных соотношений, позволяющих однозначно описать мироздание. Общество оказалось не готовым к пониманию фантастического многообразия миров планеты Земля, то есть не готово к пониманию самого себя. Привычные простые

истины размывались, лишая возможности выбора и построения тактики жизни.

Как писал один из руководителей концерна «Фиат» и президент Римского Клуба Аурелио Печ-чеи: «Человеку сейчас, по сути дела, не остается ничего иного, как возможно быстрее приблизиться к следующей фазе своего развития — той, где он, сочетая свое могущество с достойной мудростью, научится поддерживать в гармонии и равновесии все дела человеческие».

**На смену аналитике пришла модель.** Мир вступил в эпоху вычислительной математики. Кибернетика обрела бытовую практику, и в ее силу уверовали практически все. В 1968 году интернациональная группа ученых, объединившись в неформальную экспертную организацию «Римский Клуб», поставила вопрос об управляющем воздействии на развитие современной цивилизации. Для понимания основных тенденций развития требовалась модель мира. И эта модель была предоставлена профессором Массачусетского технологического института Джейм Форрестером. Он предложил Клубу свою компьютерную разработку «МИР-1», которая стала основанием для принятия знаменитой экологической концепции развития человечества.

Аурелио Печчеи вспоминал: «Даже самые первые его модели — при всей их примитивности и порой несовершенстве — могли вполне убедительно и впечатляюще имитировать динамику реального мира. В процессе изучения пяти выбранных критических параметров и их взаимодействия на более высоких уровнях появлялись выводы о неминуемой катастрофе, требовавшей немедленных мер, направленных на то, чтобы приостановить опасную склонность человеческой системы к росту».

Форрестер поразил участников проекта практичным, а точнее, инженерным подходом к проблемам эволюции мира. Наша цивилизация, наконец, получила своего инженера. Джей Форрестер подарил человечеству принципиально новое знание: **мир вычисляем**. Он стал одним из тех, кто подвел черту под целой эпохой неспешных размышлений о моделировании мира, этакой Эпохой нерешительности.

Конечно же, в вычислительных формулах Форрестера можно найти ошибку не только «в восемнадцатой строке». Но ресурсно-временной интервал Евро-Атлантической цивилизации был инвертирован. Тридцать пять лет назад прозвучал тезис об ограниченности идеи простого линейного роста в освоении мировых ресурсов, бесконечной экспансии. Тезис просчитан, доказан, использован для экономического передела мира в пользу экологически чистых производств, но, наверное, до сих пор до конца не услышан.

*Николай Ютанов*

## **ПРЕДИСЛОВИЕ К ПЕРВОМУ РУССКОМУ ИЗДАНИЮ**

Джей Форрестер, один из крупнейших специалистов в области теории управления, является профессором в Школе управления Альфреда П. Слоуна в Массачусетском технологическом институте (МТИ). С 1939 г. до конца Второй Мировой войны он занимался разработкой сервомеханизмов в МТИ, а позднее — цифровых ЭВМ. С 1951 по 1955 г. он руководил Линкольн-новской лабораторией воздушной обороны МТИ, а в 1956 г. ему было присвоено звание профессора в области промышленного управления. Форрестер достиг значительных успехов в области теории сервомеханизмов, хранения цифровой информации и промышленного управления. В 1968 г. Форрестер был награжден премией «Изобретатель года», учрежденной Университетом Джорджа Вашингтона, и золотой медалью Вальдемара Поулсена, учрежденной Датской академией технических наук.

Большой опыт в теории управления и больших систем позволил ему по-новому взглянуть на промышленное предприятие как на сложную динамическую систему. Результатом этих работ явилось создание в МТИ методологии междисциплинарных исследований сложных динамических систем, получившей название системной динамики. Рождение системной динамики заслуженно связывается с именем Дж. Форрестера. Системная динамика, рассчитанная сначала на решение проблем управления в промышленности, была впоследствии расширена для анализа широкого класса динамических систем — экономических, социальных, экологических. Системная динамика в современной редакции представляет собой тщательно разработанные методические рекомендации по анализу исследуемой проблемы, ее качественному описанию в виде диаграмм, представление в виде программы на специально разработанном языке программирования DYNAMO и последующее исследование модели на ЭВМ. Методы системной динамики получили широкое признание и нашли применение в различных областях. Особенно много интересных результатов было получено на стыке различных дисциплин, например проблемы развития города с учетом социальных и экономических процессов (книга Форрестера «Динамика развития

города» Советом организационного развития была признана лучшей публикацией 1970 г.).

Часто методология системной динамики, а более всего результаты конкретных исследований подвергались обоснованной критике. Обычно это касалось тех областей, для которых существовал собственный математический аппарат, например математическая экономика. Как правило, в подобных случаях системная динамика критикуется за игнорирование предшествующего опыта и чрезмерное упрощение либо за недостаточную обоснованность формальных описаний там, где прежде их вовсе не существовало. Однако, несмотря на известную справедливость подобной критики, следует признать, что именно системная динамика стала необходимым инструментом, позволяющим большому числу специалистов в конкретных областях знаний, не имеющих специальной подготовки в теории управления и теории сложных систем, успешно строить математические модели интересующих их процессов и с их помощью глубже понимать качественное поведение сложных систем.

Основные идеи и методы системной динамики, ее приложение к исследованию промышленных предприятий и процессов урбанизации изложены в переведенных у нас книгах Форрестера «Основы кибернетики предприятия» и «Динамика развития города». Предлагаемая читателям книга Дж. Форрестера «Мировая динамика» является естественным продолжением серии книг, описывающих результаты приложения системной динамики к исследованию различных объектов. Однако на этот раз необычен сам объект исследования. Это — мировая система в целом.

Книга Форрестера и появившаяся одновременно с ней книга его ученика Д. Медоуза привлекли внимание мировой общественности и стали предметом ожесточенных дискуссий. Именно в ходе этой полемики рождались все новые и новые проекты, направленные на исследования возможных путей развития мировой системы: проект М. Месаровича и Э. Пестеля, латиноамериканский проект под руководством А. Эрреры, проекты Я. Кайя, Х. Линнемана, Я. Тинбергена, В. Леонтьева и др. Но именно «Мировая динамика» явилась первым

сравнительно незаметным толчком, который породил лавину исследований, получивших впоследствии название «глобального моделирования».

Дж. Форрестер очертил рамки модели и ввел основные гипотезы, разработанные в дальнейшем более подробно группой Д. Медоуза. В своей модели он рассматривает мир как единое целое, как единую систему различных взаимодействующих процессов: демографических, промышленных, процессов истощения природных ресурсов и загрязнения окружающей среды, процесса производства продуктов питания. Расчеты показали, что при сохранении современных тенденций развития общества неизбежен серьезный кризис во взаимодействии человека и окружающей среды. Этот кризис объясняется противоречием между ограниченностью земных ресурсов, конечностью пригодных для сельскохозяйственной обработки площадей и все растущими темпами потребления увеличивающегося населения. Рост населения, промышленного и сельскохозяйственного производства приводит к кризису: быстрому загрязнению окружающей среды, истощению природных ресурсов, упадку производства и росту смертности. На основании анализа этих результатов делается вывод о необходимости стабилизации промышленного роста и материального потребления.

Конечно, книга Дж. Форрестера не лишена недостатков, среди которых многие критики отмечали спорность отдельных описаний и количественных оценок отдельных параметров, необходимость разбиения мировой системы на взаимодействующие регионы, необходимость более полного учета социальных факторов и возможностей сознательного управления развитием. Справедливо критиковались поспешность и недостаточная обоснованность выводов.

Однако нельзя забывать, что «Мировая динамика» явилась первой завершенной попыткой применить точные методы для исследования мирового развития. Она не претендует на всесторонний анализ глобальных проблем, а скорее демонстрирует лишь один из возможных подходов к такому анализу. Без знакомства с этой книгой трудно понять атмосферу последующих дискуссий и работ в области глобального моделирования.

Книга Дж. Форрестера «Мировая динамика» будет полезна широкому кругу специалистов как демонстрация еще одного практического применения системной динамики при исследовании сложной социально-экономической системы и как введение в новую область системного анализа — математическое моделирование глобального развития.

*Д. М. Гвишиани*



## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

В течение последних нескольких десятилетий резко возрос интерес к проблемам, связанным с экономическим развитием, ростом народонаселения и последствиями антропогенных воздействий на мировую окружающую среду. По мере роста трудностей в масштабе планеты многие люди и организации начали изучать и воздействовать на те или иные стороны изменяющейся мировой ситуации. Однако большая часть активности оказалась направленной на отдельные грани функционирования мировой системы. И только небольшая часть исследователей старалась показать, как многие механизмы и силы, воздействуя друг на друга, вызывают те тотальные последствия, которые мы и воспринимаем. Сейчас, однако, многие люди начали понимать, что взаимодействия внутри целого более важны, чем простая сумма отдельных его частей. Эта книга представляет собой одну из попыток, имеющую целью показать, как поведение мировой системы в целом обуславливается взаимодействием ее демографической, индустриальной и сельскохозяйственной подсистем.

Настоящее исследование развивалось на базе 15-летней программы исследования динамических структур социальных систем и было осуществлено лишь после событий лета 1970 г.<sup>1</sup>, которые сфокусировали прежние теневые проблемы в быстро прогрессирующие стрессовые ситуации в нашей самой большой социальной системе — мировом сообществе.

В 1968 г. вместе с Дж. Коллинзом и другими я попытался применить этот метод к изучению роста и стагнации характеристик урбанизированных районов, что и описал в своей книге «Urban Dynamics»<sup>2</sup>.

Динамическая модель мировых взаимодействий, описанная в этой книге, была предложена как основа для дискуссии. Ее следует рассматривать лишь в качестве предварительной попытки моделирования таких систем. Заметим, что все модели будут оставаться

---

<sup>1</sup> Речь идет о так называемом «энергетическом кризисе», подробно обсуждавшемся в печати. (Прим. Н. М.).

Энергетический кризис трактуется сейчас как составная часть сырьевого кризиса 1970—1975 гг.,

лишь некоторыми приближениями к действительности. Поскольку точная и окончательная модель мировой системы никогда не может быть построена, а интерес к этим попыткам все более и более растет, нам казалось уместным изложить используемые предположения и полученные нами выводы в этой книге.

Здесь обсуждаются только самые общие аспекты функционирования мировой системы, но не трудности, связанные с осуществлением изменений, которые будут необходимы, если сохранятся современные тенденции развития человеческого общества. Многие важные переменные опущены. Агрегирование переменных проведено на таком высоком уровне, что отличительные особенности между развитыми и развивающимися странами несущественны. Большинство концепций в мировой модели отражает положения и мотивации недавнего прошлого и настоящего. Поэтому в книге не учитываются возможные изменения в человеческих стремлениях и ценностях, которые могут возникнуть вследствие широкого понимания затруднений, встающих перед человечеством. Все эти проблемы — объекты будущего исследования. Я надеюсь, что эта книга будет содействовать возникновению ощущения необходимости безотлагательного решения существующих проблем и укажет на эффективное направление работы для тех, кто решится исследовать альтернативы будущего.

---

выразившегося в резком повышении мировых цен на сельскохозяйственную продукцию, энергоносители и некоторые другие виды сырья. Существует ряд интерпретаций сырьевого кризиса. В частности, его объясняют через хантинг-тоновскую модель «войны цивилизаций» — как первый успешный пример действий сырьевых стран Юга против промышленного Севера. Наиболее интересной и эврис-тичной является интерпретация в геоэкономических терминах: повышение цен на сырье рассматривается как внешний признак структурного кризиса экономической модели, созданной в 1950-х годах и недееспособной в новых реалиях. Наконец, ряд схем описывают сырьевой кризис в категориях борьбы между «старыми» и «новыми» производствами в развитых странах. Само собой разумеется, что с точки зрения глобального моделирования, исчерпания ресурсов, «пределов роста» и т. п. события 1970—1975 гг. не рассматриваются. *(Прим. ред.)*

<sup>2</sup> Русский перевод: Форрестер Дж. Динамика развития города. М.: Прогресс, 1974. *(Прим. И. М.)*.

Несмотря на экспериментальный характер описанной здесь мировой модели, с ее помощью получен ряд определенных выводов. Человек всегда действует на основе моделей, имеющихся в его распоряжении. Мысленные образы — это тоже модели. Мы в настоящее время широко используем такие мысленные модели в качестве основы для действия. Каждый человек, который предлагает политику, закон или последовательность действий, делает это на основе модели, к которой он в данный момент питает наибольшее доверие. Установив границы применимости изложенной здесь модели и проверив ее динамическое поведение и выводы, я отношусь с большим доверием к этой модели мировой системы, чем к каким-либо другим, имеющимся в настоящий момент в моем распоряжении. Поэтому именно данную модель я стал бы использовать для рекомендации к действиям. Все, кто сочтут эту модель более убедительной, чем те, которые они сейчас используют, вероятно, захотят использовать ее до тех пор, пока в их распоряжении не окажется модель лучше, чем эта.

Хочется надеяться, что те, кто полагают, что они уже имеют некоторую другую модель, которая является более справедливой, представят ее с той же степенью подробной детализации, чтобы таким образом можно было сравнить и проверить заложенные в ней предположения и полученные из нее выводы. Отвергнуть эту модель вследствие ее недостатков, без предложения конкретных реальных альтернатив, было бы эквивалентно высказыванию, что время может быть остановлено. Но земной шар будет продолжать вращаться. И в каждый момент времени мы используем наиболее подходящую модель. Но как мы удостоверимся в том, что из имеющихся в нашем распоряжении самая признанная модель и есть самая лучшая? Нам следует попытаться использовать три подхода. Во-первых, лучшая из существующих моделей должна быть идентифицируемой для любого момента времени. Во-вторых, лучшая на современном этапе модель должна заменять менее ясные и менее точные традиционные модели. И в-третьих, следовало бы приложить энергичные усилия по непрерывному совершенствованию уже имеющихся моделей мировой системы.

Стало традицией критиковать количественные модели социальных систем за их недостаточное совершенство. Вместо этой критики мы нуждаемся в предложении альтернатив и оценке различных и наиболее вероятных выводов и последствий, к которым они приводят. На основе таких предложений и контрпредложений только и может развиваться наше понимание социальных систем.

Я особенно обязан Г. Брауну, Дж. Коллинзу, А. Печ-чеи и Э. Пестелю за поддержку и помощь на многих этапах работы, приведшей к появлению этой книги. Я также высоко ценю дружескую критику рукописи со стороны Р. Брауна, Р. Эрвина, Дж. Хеница, Д. Медоуза, Дж. Си-гера и К. Вильсона. Никто из них не несет ответственности за предположения и интерпретации результатов, изложенные здесь.

*Джей В. Форрестер*

Массачусетский технологический институт

Кембридж, Массачусетс

Март 1971 г.

# 1. ВВЕДЕНИЕ

## 1.1. МИРОВАЯ СИСТЕМА

Мировая система сталкивается с новыми трудностями. Под «мировой системой» мы понимаем человека, его социальные системы, технологию и естественную окружающую среду<sup>1</sup>. Взаимодействие этих элементов определяет рост, изменения и напряженность. Существование серьезных проблем в социально-экономико-природной среде не является новостью. Но только совсем недавно человечество

Определение дано не очень четко. Прежде всего неясно, в каком времени следует рассматривать «мировую систему». Имеется ли в виду «моментальный снимок» «человека, его социальных систем, технологии и естественной окружающей среды»? Или же подразумевается, что «мировая система» как объект исследования включает в себя свое прошлое и свое будущее, определенный временной промежуток? В первом случае система может быть описана дифференциальными уравнениями, а во втором нет, и необходимо применять метод конечных разностей. В первом случае динамика параметров, описывающих систему, непрерывна, во втором же — заведомо разрывна, и динамический анализ носит пошаговый характер. Понятно, что выводы модели могут существенно зависеть от того, какой ответ автор дает на этот вопрос. Вообще говоря, социальные начали осознавать силу этих противоречий, которые не могут быть разрешены исторически сложившимися путями — миграцией, экспансией, экономическим ростом, технологическими преобразованиями<sup>1</sup>. Системы рефлексивны и, в частности, накапливают исторический опыт. Тем самым социальная динамика определяется не только состоянием системы в некоторый момент времени  $t$  и «психоисторическими законами развития» (полагаем, что они нам известны — по крайней мере, в модели), но и особенностями развития системы на предшествующих этапах. Карибский кризис закончился бы войной, если бы не было негативного опыта сараевского.

Далее, автор жестко разделяет технологии и естественную природную среду (техносферу и биосферу). Между тем неясно, есть ли для этого должны

основания. Возможно, гораздо более плодотворным было бы рассмотреть «человека, его социальные системы и технологию» как специфическую версию экосистемы. Заметим, что, искусственно выделив человека из среды, автор заложил в свою модель динамическое противоречие, которое будет присутствовать во всех выводах теории. Но существует ли это противоречие «на самом деле» или оно представляет собой артефакт, возникший в процессе моделирования?

Наконец, непонятно, где проходят границы «мировой системы». Судя по всему, Дж. Форрестер считает «мировую систему» замкнутой и совпадающей (в первом приближении) с земным шаром. Из термодинамических соображений понятно, что система должна включать в себя также Солнце — возможно, как внешний параметр. Но даже система Земля — Солнце незамкнута: человек побывал на Луне и — во всяком случае, теоретически — способен создавать колонии в космосе. Можно согласиться с Форрестером в том, что практического значения эта оговорка не имеет и тем более не имела тридцать лет назад. Но в «рамке» фундаментальных исследований различие между принципиально замкнутой моделью Форрестера и реальной «мировой системой», которая имеет некоторую тенденцию к открытости, весьма существенно. (*Прим. ред.*) 'См. [8—10].

Явным выражением напряженности в мировой системе являются рост населения<sup>1</sup>, возрастающее загрязнение и различие в уровнях жизни. Однако растущее население, загрязнение и экономическое неравенство — это симптомы или причины? Можно ли на них воздействовать с целью улучшения ситуации непосредственно, или причины стресса нужно искать в другом месте мировой системы?

---

<sup>1</sup> Рост народонаселения действительно является одним из важных факторов напряженности, но лишь в том случае, когда он обгоняет экономический рост, как это происходит, например, в некоторых развивающихся странах. Наилучшим выходом из такой ситуации является разумная политика ограничения рождаемости, что и делается во многих из этих стран. Конечно, было бы наивным ожидать сразу заметных результатов — понадобятся десятилетия, чтобы политика ограничения рождаемости принесла свои плоды.

Вообще говоря, рост населения — процесс пространственно и регионально крайне неоднородный.

В настоящий момент все более осознается тот факт, что попытки, направленные на ослабление стрессовых ситуаций в наших социальных системах, часто предпринимались ретроспективно, подавляя только симптомы и не затрагивая основных причин. Элементы мировой системы становятся все более тесно взаимосвязанными. Воздействие на один сектор системы может вызвать последствия в другом. И часто последствия непредвиденные и неприятные. Если мы хотим быть уверены, что наши действия будут приводить скорее к улучшению, чем к ухудшению ситуации, то нам нужно понять связи, посредством которых основные факторы влияют друг на друга в планетарном масштабе.

Наши знания и предположения относительно компонент систем (даже таких сложных, как наша социальная система) могут быть проверены на основе методов, развитых в течение нескольких последних десятилетий. Это достигается посредством организации индивидуальных концепций в некоторую модель, что позволяет раскрыть и внутреннюю противоречивость наших предположений, и фрагментарность наших знаний. Такая проверка может способствовать улучшению понимания мировой системы, одним из элементов которой мы являемся.

---

Отражением этой неоднородности могут служить полярно противоположные цели демографических политик различных стран: например, демографическая политика Венгрии стимулирует увеличение рождаемости, а Индия всячески старается стабилизировать этот процесс, затормозить рост населения, ограничивая рождаемость. Поэтому возникает некоторое сомнение в законности глобальной агрегации столь регионально неоднородного процесса. *(Прим. Н. М.)*

За прошедшие тридцать лет четко выявились две тенденции в демографической динамике. Титульное население развитых промышленных стран, несмотря на все усилия правительств по стимулированию рождаемости, неуклонно сокращалось как в абсолютных, так и в относительных цифрах. Напротив, население стран, относящихся к традиционной (доиндустриальной) фазе развития, стремительно росло - опять-таки, невзирая на все усилия как-то контролировать этот процесс. Наибольших показателей естественный прирост достиг в Нигерии и Бангладеш (последняя, вероятно, является самой бедной страной мира). Интересно, что в Китае, где контроль над рождаемостью был очень жестким, он привел к стабилизации численности населения промышленного развитого восточного побережья и никак не отразился на демографической динамике сельскохозяйственных районов страны. (Подробнее смотри в Послесловии к настоящему изданию).

В целом за тридцатилетний период население Земли росло в русле положений модели Дж. Форрестера. (*Прим. ред.*)

В этой книге будет изложена динамическая мировая модель, т. е. модель, в которой взаимоувязаны население, капиталовложения (фонды), географическое пространство, природные ресурсы, загрязнение и производство продуктов питания. Этими основными компонентами и их взаимодействиями, по-видимому, обуславливается динамика изменений в мировой системе. Растущее население вызывает рост индустриализации, рост потребности в продуктах питания и расширение населения по все большей территории. Но рост производства продуктов питания, промышленных товаров и занимаемой территории способствует не только поддержанию, но и увеличению количества населения<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Сейчас уже точно известно, что это положение модели Форрестера является ошибочным. Для титульного населения индустриальных стран рост уровня жизни (даже «в разы») не способствует увеличению количества населения. Напротив, оно сокращается. Более того, падает рождаемость. Впрочем, ниже (см. главу 3) автор использует как раз гипотезу об отрицательных корреляциях между уровнем рождаемости и уровнем жизни: «при повышении жизненного уровня предполагается, что темп рождаемости падает».

Ошибка вызвана сведением всех форм потребления к потреблению продуктов питания, которое биологически конечно. Тем самым дети перестают быть экономически невыгодными (см. Послесловие). (*Прим. ред.*)



Рост населения с сопровождающими его индустриализацией и загрязнением является следствием циклических процессов, в которых каждый сектор способствует росту других секторов и обеспечивает свое развитие за их счет. Но со временем рост наталкивается на пределы, налагаемые природой. Почва и природные ресурсы истощаются, а способность биосферы Земли разлагать загрязнения не беспредельна<sup>2</sup>.

Противоречие между концепцией роста и природными ограничениями может быть разрешено несколькими путями. Человек, если он достаточно хорошо это понимает и действует разумно, может выбрать траекторию развития, которая должна приводить к стабилизации мировой системы. И задача состоит в том, чтобы выбрать наилучший из возможных вариантов перехода от динамического роста к состоянию мирового равновесия.

Обеспеченность пищей может и не быть первым барьером, ограничивающим растущее население. Другие силы в структуре мировой социально-технологической системы могут прекратить дальнейший рост населения.

Население, капиталовложения (фонды), загрязнение, потребление пищи и уровень жизни экспоненциально возрастают на протяжении всей известной нам истории<sup>3</sup>. Человек исходит из предполагаемого роста, рассматривает его как естественную основу человеческого поведения и ассоциирует рост с «прогрессом». Мы говорим о ежегодном проценте прироста валового

---

<sup>2</sup> Что этот барьер существует — достаточно очевидно. Весь вопрос в том, когда будет достигнут этот барьер. Первичная продуктивность биосферы такова, что она может прокормить 40—70 млрд человек. Однако существует огромное количество национальных, религиозных, традициона-листических и т. п. ограничений на рацион питания, что приводит к значительному снижению этой оценки. Возникает естественный путь их снятия через создание новых обычаев и традиций. С другой стороны, возможны и пути повышения продуктивности биосферы за счет увеличения к.п.д. фотосинтеза и увеличения скорости биологического круговорота вещества и энергии. Кроме того, разумная демографическая политика также может значительно отодвинуть время достижения барьера. (Прим. И. М.)

Этот комментарий был дан в 1971 году. Интересно, что еще в 1968 году И. Ефремов, ученый-палеонтолог и писатель-фантаст, указал, что почва истощится задолго до предсказанных учеными огромных «предельных цифр», что приведет к демографической катастрофе: «век голода и убийств». (Прим. ред.)

<sup>3</sup> Это очень неточно. В архаичной фазе развития численность населения подчинялась скорее уравнениям Вольтерра, описывающим ангармонические колебания. Лишь при усреднении по нескольким поколениям можно было выделить экспоненциальный прирост. В традиционной фазе демографическая статистика действительно была экспоненциальной, но ни о какой экспоненте в росте качества жизни говорить не приходится. Суждение Дж. Форрестера верно только для индустриальной фазы, причем для тех регионов, которые восполняют демографическую деградацию титульного населения за счет иммиграции. (Прим. ред.)

национального продукта (GNP) и населения. Величины, имеющие постоянный годовой процентный прирост, демонстрируют «экспоненциальный» рост. Но экспоненциальный рост не может продолжаться безгранично.

Экспоненциальный рост, в строгом смысле его определения, обладает характерным свойством, называемым «время удвоения». Это некоторый интервал времени, за который происходит удвоение значения соответствующей переменной величины системы. Экспоненциальный рост выглядит безобидным и способен вводить в заблуждение. Переменная, характеризующая систему, может пройти через многие периоды удвоения без достижения заметного значения. Но через несколько периодов удвоения, следуя тому же самому закону экспоненциального роста, эта переменная внезапно оказывается громадной величиной.

Психологическому аспекту экспоненциального роста редко отдают должное. Предположим, что имеется некоторый максимальный физический предел для величины, растущей экспоненциально. Во все предшествующие достижению предела времена значение величины будет много ниже предела, само существование которого может казаться нереальным. Нет конфликта между возрастающей величиной и пределом, что могло бы обратить внимание на возникающие трудности. Затем неожиданно, в течение одного интервала удвоения, величина возрастает от половины предельного до предельного значения<sup>4</sup>. Стрессовые воздействия от «сверхроста» становятся весьма ощутимыми:

- они не могут более игнорироваться. Если возникающие при приближении к пределу тормозящие силы слабы, то рост будет продолжаться до тех пор, пока новые факторы, появляющиеся при превышении предела, не затормозят его.

---

<sup>4</sup> Здесь нет никаких неожиданностей. Можно сделать много шагов к пропасти без заметных последствий. А потом сделать еще только один шаг — и упасть. Но в данном случае, пропасти и нет вовсе. Просто всякая модель, построенная на предположении об экспоненциальном (да хотя бы и линейном) росте какого-либо параметра со временем, в какой-то момент перестает работать.

Известен случай в практике стратегического ролевого игрового моделирования: участник, желая оптимизировать размеры земельных угодий в «своей» стране, ввел экспоненциально-прогрессивный налог на землю. Он, однако, не учел, что социальная дифференциация среди крестьянства была очень высока, поэтому предложенная им математическая модель не работала. В результате по новому закону 95% крестьян практически освободились от выплат, что же касается владельцев трех наиболее крупных поместий, то они должны были уплатить в конце года налог, превышающий совокупный общественный продукт всего мира приблизительно в сорок раз! Понятно, что вместо денег участник получил гражданскую войну и иностранную интервенцию. (Прим. ред.)

Экспоненциальный рост нагляден только при сравнении его с некоторым соответствующим пределом. Скорость и характер экспоненциального роста лучше всего демонстрируются на примере. Предположим (в иллюстративных целях, что мы начинаем с населения в 1 млн человек и что его численность удваивается каждые 50 лет. На рис. 1.1 представлена таблица изменения численности населения последовательно в течение 700 лет, за которые население возрастает от 1 млн до 16 384 млн человек.

Годы	Население (в млн)	Годы	Население (в млн)	Годы	Население (в млн)
0	1	250	32	500	1024
50	2	300	64	550	2048
100	4	350	128	600	4096
150	8	400	256	650	8192
200	16	450	512	700	16384

Рис. 1.1. Рост населения в течение 700 лет с периодом удвоения 50 лет.

Данные таблицы, приведенной на рис. 1.1, изображены в виде сплошной линии на рис. 1.2. «Кризисный уровень» в 8000 млн человек выбран произвольно в качестве значения, выше которого конфликтные взаимодействия между ростом и некоторым ограничением

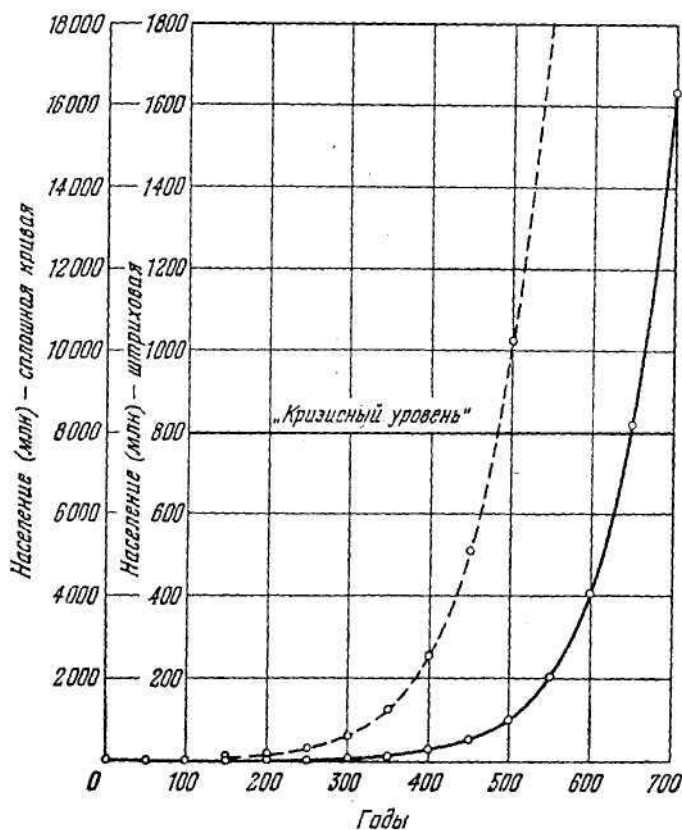


Рис. 1.2. Рост населения с периодом удвоения 50 лет.

становятся существенными. (При построении графика на рис. 1.2 мы стремились подобрать вертикальный масштаб так, чтобы наиболее характерная его точка была расположена примерно на середине вертикальной оси графика. Такой выбор масштаба позволяет показать крутизну кривой и взрывной характер процесса и не вносит каких-либо изменений в «закон роста», которому следует система.) Чтобы проиллюстрировать, что для экспоненциального роста характерна одинаковая интенсивность стремления к любому пределу (вне зависимости от его величины), предположим, что «кризисный уровень» на рис. 1.2 равен 800 млн человек (вместо 8000 млн). Второй вертикальный масштаб, выбранный так, чтобы «кризисный уровень» пришелся на 800, показан правее. Штриховая линия проходит по точкам, которые снова берутся по значениям, приведенным в таблице на рис. 1.1, но для нее эти значения наносятся по внутренней вертикальной шкале. Понижение «кризисного уровня» в 10 раз вызвало его пересечение с кривой роста с таким уменьшенным пределом примерно на 170 лет раньше, чем для сплошной кривой. Иначе говоря, взрывной характер роста и

картина пересечения кривой роста с предельным значением — те же самые.

Самое удивительное из того, что мы усвоили из эксперимента с экспоненциальным ростом, заключается в том, что «взрыв» происходит не вследствие какого-либо неожиданного изменения в структуре закона роста, а в результате взаимоусиления процессов, всегда существовавших, но до этого времени нами игнорируемых. До 600-го года на рис. 1.2 население не достигает и половины кризисного уровня. В течение всего предшествующего времени такой рост представлялся желательным и не лимитируемым физическими ограничениями. Затем неожиданно, в течение всего лишь 50-летнего периода, в обычный, казалось бы, этап развития процесса, взметнувшаяся вверх кривая пересекает кризисный уровень. Менее чем за длительность жизни одного поколения рушатся все традиции и представления. Это происходит даже в том случае, если ничего не меняется в существе закона, которому до последнего времени следует рост. Население, которое 12 раз удваивается в течение предшествующих 600 лет, еще только дважды удваивается между 600 и 700 годами. Но за это столетие становится очевидным, что 50-летняя скорость удвоения населения не может сохраняться и рост должен стать контролируемым.

Дремлющие до поры до времени в мировой системе силы на протяжении жизни одного поколения могут проявиться и начать регулирование процесса. Падающая обеспеченность продуктами питания, возрастающее загрязнение и уменьшающееся жизненное пространство — все эти причины в их тесной взаимосвязи вызывают давления, достаточные для того, чтобы понизить коэффициент рождаемости и повысить коэффициент смертности. По мере приближения к окончательным пределам негативные силы в системе накапливаются до тех пор, пока их не окажется достаточно, чтобы остановить процессы роста. В одно мгновение выясняется, что строгий закон экспоненциального роста слабеет в силу взаимосвязанности природных процессов<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Учет системного взаимодействия между человеком и природой (при самых общих предположениях о характере этого взаимодействия) приводит к тому, что экспоненциальная демографическая кривая при больших значениях плотности населения начинает загигаться, переходя в логистическую. По всей видимости, можно говорить о некотором общем законе динамики устойчивых систем: всякий экспоненциальный рост параметра на самом деле подчиняется логистическому уравнению (см. Послесловие к наст. изд.). (Прим. ред.)

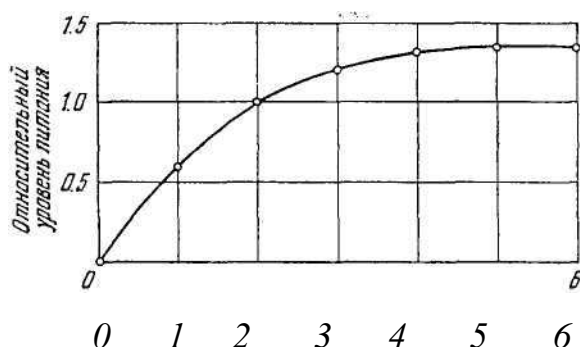
## **1.2. ПЕРЕХОД К РАВНОВЕСИЮ**

В этой книге исследуются некоторые из причин, которые в дальнейшем могут стать барьерами на пути чрезмерно интенсивного роста, анализируются те изменения в системе, которые могут остановить экспоненциальный рост. Это предпринимается для изучения последствий перехода системы от состояния роста к мировому равновесию.

Кажется удивительным, когда, как на рис. 1.2, экспоненциально растущая величина внезапно устремляется к фиксированным пределам, которые она физически не может превзойти. Но системные сдерживающие силы могут возрастать даже более неожиданно. Очень часто вид взаимосвязей таков, что экспоненциальный рост наталкивается на барьер — уменьшающееся пространство. Конфликт при этом становится особенно выразительным. Рассмотрим, например, население, которое развивается в ограниченном физическом пространстве. Предположим, что каждому человеку требуется одна единица поверхности земли в качестве необходимого «жизненного пространства», представляющая собой участок земли для домашних построек, производственной деятельности, транспорта и переработки отходов (диссипации загрязнения). Предположим также, что для надлежащей обеспеченности продуктами питания каждому человеку требуются две единицы поверхности земли. При таких упрощенных предположениях не учитываются ни качество земли, ни изменчивость ее сельскохозяйственной продуктивности.

Если жизненное пространство вычесть из общей площади земли, то остаток и представляет собой ту землю, которая может быть использована для сельского хозяйства. Эта земля, в расчете на душу населения, может интерпретироваться в терминах обеспеченности пищей (как это предполагается на графике рис. 1.3). Точки на горизонтальной оси соответствуют количеству единиц земли на душу населения, отведенной под сельскохозяйственные угодья, которая остается после вычитания «жизненного пространства» из общего количества земли. Вертикальная ось задает отношение пищи на душу населения к необходимому ее количеству для надлежащего уровня обеспечения. Например, если имеются две

единицы земли на душу населения, отведенной под сельскохозяйственные угодья, то соответствующая точка на кривой показывает относительный уровень питания, равный единице, что является



*Площадь сельскохозяйственных угодий на душу населения (от//, ед.)*

*Рис. 1.3. Относительный уровень питания на душу населения как функция количества земли, отведенной под сельскохозяйственное производство.*

как раз достаточным. В случае, если имеется четыре единицы земли на душу населения, то относительный уровень питания— 1.3. Однако количество пищи на душу населения не возрастает с увеличением имеющейся в его распоряжении земли, поскольку, с одной стороны, пищи достаточно, а с другой — нет рабочих рук, чтобы выращивать урожай. В левой части диаграммы (когда количество земли на душу населения уменьшается) соответствующая обеспеченность пищей быстро падает, обращаясь в нуль, если не остается земли под сельскохозяйственные угодья.

Рис. 1.3 демонстрирует возможную связь между количеством пищи на душу населения и площадью сельскохозяйственных угодий (также на душу населения). Здесь выражен только качественный характер зависимости. Вид кривой в левом углу указывает, что нулевое количество земли производит нулевое количество пищи. На правом конце устанавливается, что рост дополнительного количества пищи на душу населения быстро уменьшается, когда количество пищи превосходит необходимое. Диаграмма сопоставляет физическую переменную (количество земли на душу населения) с концепцией удовлетворения потребностей или качества жизни (соответствующая обеспеченность пищей). В более сложной системе относительный уровень питания оказался бы фактором,

определяющим коэффициент рождаемости и среднюю продолжительность жизни. Диаграмма иллюстрирует количественные характеристики, которые связывают различные секторы в единую систему. Многие соотношения такого типа будут обсуждаться в главе 3. Это позволит объединить демографический, индустриальный, сельскохозяйственный секторы, секторы добычи ресурсов и загрязнения мировой системы.

0	1	1	23999	23999	135
50	2	2	23998	11999	135
100	4	4	23996	5999	135
150	8	8	23992	2999	135
200	16	16	23984	1499	135
250	32	32	23968	749	135
300	64	64	23936	374	135
350	128	128	23872	187	135
400	256	256	23744	93	135
450	512	512	23488	46	135
500	1024	1024	22976	22	135
550	2048	2048	21952	1072	135
600	4096	4096	19904	486	134
620	5405	5405	18595	344	126
640	7132	7132	16868	237	109
660	9410	9410	14590	155	085
680	12417	12417	11583	093	057
700	16384	16384	7616	046	030

*Рис. 1.4. Численность населения, территория и относительное питание при фиксированной площади земли в 24 млрд единиц и с населением, удваивающимся за 50 лет.*

На рис. 1.4 показано то же самое население, что и на рис. 1.1, удваивающееся каждые 50 лет. Предполагается, что население растет на территории в 24 000 млн единиц земли. Третий столбец демонстрирует



количество единиц земли, необходимое для размещения населения при норме, равной единице поверхности на человека. Четвертая колонка показывает, какое количество земли остается для сельского хозяйства при общем количестве в 24 000 млн единиц. Пятая колонка дает нам количество единиц земли на человека, имеющейся в его распоряжении для производства пищи. Последняя колонка представляет собой относительный уровень питания, взятый из рис. 1.3, который соответствует значению площади, имеющейся в распоряжении одного человека. В течение первых 600 лет, когда население возрастает в 4000 раз, площадь земли, которая может быть занята под сельское хозяйство, уменьшается примерно на 17%, а относительный уровень питания остается, по существу, постоянным, равным его максимальному значению. Но в последующие 100 лет население возрастает еще только в 4 раза, в то время как площадь сельскохозяйственных угодий уменьшается при этом на 62%. Впервые происходит «вторжение» на землю, необходимую для производства продуктов питания. Население растет, и, по достижении «кризисного уровня», начинается быстрое сокращение сельскохозяйственных угодий.

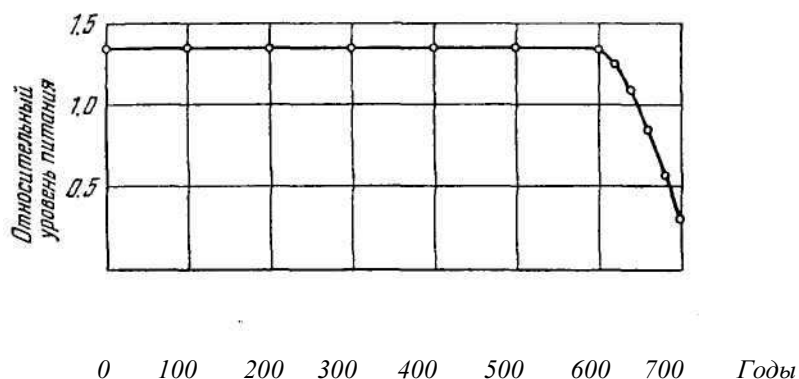
Относительный уровень питания, взятый из рис. 1.4, представлен на рис. 1.5 в зависимости от времени. В течение всего рассматриваемого времени уровень был удовлетворителен, но затем, за период меньший, чем жизнь одного поколения, он стремительно падает, причем настолько низко, что пищевые ресурсы ограничивают дальнейший рост населения.

В США урбанизация быстро «подминает» под себя фермерские поля. Сельскохозяйственные угодья использованы почти полностью, а неосвоенные резервы представляют собой сильно истощенные земли. Плодородные земли в Нью-Джерси и Калифорнии поглощаются развивающимся строительством жилья и используются под промышленные цели со скоростью несколько тысяч акров в месяц<sup>6</sup>. Начиная с 1945 г. застроено уже около половины фермерской земли в Нью-Джерси, Иллинойсе и Канзасе. Исчезновение сельскохозяйственных угодий маскируется растущей продуктивностью единицы площади за счет механизации,

---

<sup>6</sup> 1 акр = 0,4 га.

ирригации,



*Рис. 1.5. Зависимость относительного уровня питания от времени.*

применения пестицидов и селекции новых сортов. Но это не может продолжаться бесконечно. Когда процессы, представленные на рис. 1.4 и 1.5, дадут эффект, излишки продукции сельского хозяйства, идущие на экспорт, будут уменьшаться. После того как экспортный буфер будет переключен на внутреннее использование, закономерность, изображенная на рис. 1.5, станет полностью очевидной. На протяжении десятилетий Соединенные Штаты пытаются совладать со своей проблемой «фермерских излишков». Традиционное отношение к излишку может маскировать наступление нехватки земли до тех пор, пока не окажется, что переориентировать силы роста в форму долгосрочного равновесия уже поздно.

Крутизна падения кривой, изображенной на рис. 1.5, может не быть такой явной в реальной жизни, так как земля на самом деле различного качества, процессы приближающегося голодания вызывают более интенсивное использование земли и население должно увеличиваться медленнее, чтобы избежать резкого падения относительного уровня питания.

Рост численности населения наряду с сокращением «свободной» окружающей среды представляет собой общее явление, однако с более глубоким содержанием, чем только уменьшение обеспеченности пищей. Когда население растет, увеличивается скорость использования природных ресурсов и запас ресурсов сокращается, не удовлетворяя возрастающий спрос. Рост индустриализации вызывает увеличение уровня загрязнения, а само загрязнение может нарушать и процессы самоочистки в природе, так что увеличение загрязнения

сталкивается с уменьшающейся способностью среды к самоочищению.

В этой книге исследуется структура взаимно уравнивающих сил в мировом масштабе, когда рост оказывает чрезмерную нагрузку на окружающую среду.

### **1.3. ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ОБСУЖДЕНИЕ**

#### **РЕЗУЛЬТАТОВ**

В этом разделе обсуждаются результаты и предварительные выводы, полученные в главах 4, 5 и 6. Их интерпретация основывается на характере поведения машинно-ориентированной модели, развиваемой в главе 3. Модель строится на основании ряда утверждений, наблюдений и предположений относительно мировой системы. В машинной модели взаимосвязаны секторы демографии, экономики, сельского хозяйства и технологии. Модель описывает мировую систему, которая демонстрирует ряд альтернативных возможностей поведения. Какое поведение окажется наиболее вероятным описанием будущего, зависит от политики, которую человек еще имеет возможность выбрать<sup>7</sup>. Мировая система допускает много альтернативных вариантов поведения в зависимости от того, как мы регулируем рост населения, распределение капиталовложений, производство сельскохозяйственной продукции, использование природных ресурсов и осуществляем контроль за загрязнением. Рис. 1.6, который детально обсуждается в главе 4, демонстрирует один из возможных вариантов будущего развития. Здесь население и капиталовложения (фонды) растут до тех пор, пока уровень запасов природных ресурсов не понизится настолько, что начинает сдерживать дальнейший рост. По мере дальнейшего истощения ресурсов мир оказывается неспособным обеспечивать максимальный уровень населения. Население вследствие этого уменьшается (наряду с понижением уровня капиталовложений). Качество жизни зависит от материального уровня жизни, обеспеченности пищей, плотности населения и загрязнения. Качество жизни (на

---

<sup>7</sup> Но, заметим, данная модель «по построению» не может зависеть от управленческих решений. В ней просто нет соответствующих параметров. Но в дальнейшем автор утверждает, что речь действительно идет о «неизбежном будущем». (Прим. ред.)

рис. 1.6) падает вследствие негативных воздействий, вызываемых истощением природных ресурсов. Детальное обсуждение этого явления можно найти в главе 4. Но истощение природных ресурсов может и не быть первым и наиболее вероятным негативным воздействием, ограничивающим рост населения. Судя по всему, сейчас в мире складывается ситуация, при которой одновременно возрастает воздействие каждого из факторов, способных сдерживать рост: истощение ресурсов, загрязнение, теснота и нехватка пищи<sup>8</sup>. Еще не ясно, какой из них окажется доминирующим, если человечество будет продолжать развиваться так же, как раньше. Постепенное возрастание до максимума и понижение численности населения (на рис. 1.6) может оказаться более предпочтительным, чем другие возможные пути перехода к равновесию.

Но ограничение роста, вызванное понижающимся уровнем запасов природных ресурсов, может быть и не главным. Наука, вероятно, найдет более удачные способы использования широко распространенных в природе металлов и увеличения источников энергии, с тем чтобы избежать истощения ресурсов<sup>9</sup>. Если это осуществится, то рост опять станет возможным до тех пор,

---

<sup>8</sup> В сущности, все это — один фактор, который называется «переполнением экологической ниши». Но человечество уже сталкивалось с ним на грани мезолита и неолита, когда прогресс в уровне технологии (производство оружия, действующего на расстоянии) привел к резкому росту популяции и исчерпанию ее пищевой базы. Неолитический экологический кризис носил катастрофический характер, однако привел он не к деградации популяции, а к переходу ее в новую фазу развития, допускающую дальнейший рост населения. (*Прим. ред.*)

<sup>9</sup> Это особенно касается энергетики. Развитие технологии позволит, вероятно, использовать нефтеносные сланцы, пропитанные нефтью. По-видимому, содержащиеся в них запасы нефти намного превосходят те, которые мы научились извлекать. Внедрение реакторов-размножителей во много раз увеличит используемые сейчас запасы ядерного топлива. (*Прим. И. М.*)

На сегодняшний день нет основания разделять оптимизм комментариев 1970 года. Хотя в области нефтедобычи достигнут определенный прогресс, человечество по-прежнему зависит не столько от запасов «нефти вообще», сколько от запасов дешевой нефти. Распространение ядерной энергетики сдерживается искусственно (не в последнюю очередь позицией сторонников охраны окружающей среды). Термоядерная энергия по-прежнему остается недоступной. (*Прим. ред.*)

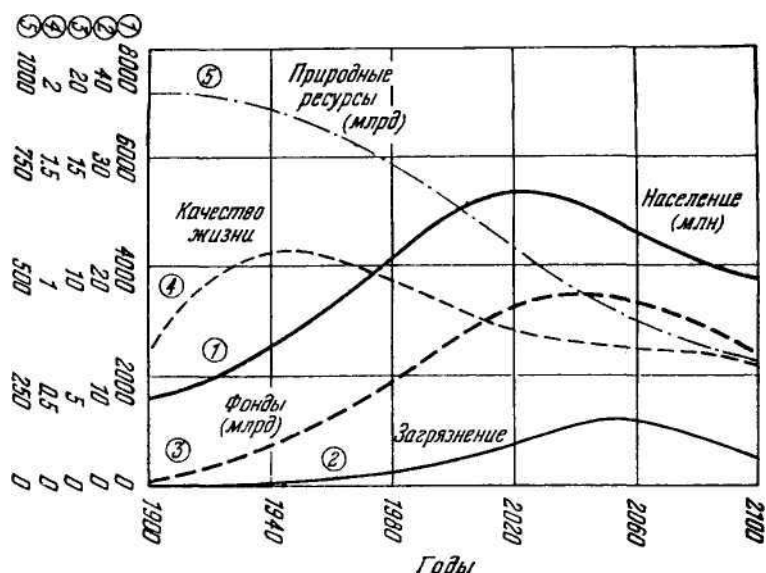


Рис. 1.6. Кризис истощения природных ресурсов.

пока в системе не возрастут воздействия некоторых других отрицательных факторов. На рис. 1.7 показаны характеристики возможных, траекторий развития, когда нехватка ресурсов перестает быть лимитирующим фактором и даже отсутствует вообще. Рис. 1.6 и 1.7 отличаются только скоростью использования природных ресурсов после 1970 г. На рис. 1.7 после 1970 г. предполагается, что скорость расходования ресурсов в четыре раза меньше, чем на рис. 1.6. Другими словами, мы предполагаем, что технология обеспечивает стандартный уровень жизни при меньшем истощении расходуемых невозполнимых ресурсов.

Но если ресурсы сохраняются в достаточном количестве, то, как видно из рис. 1.7, население и капиталовложения растут до тех пор, пока не возникнет кризис, связанный с загрязнением. Загрязнение тогда непосредственно воздействует на рост населения, вызывая понижение коэффициента рождаемости, увеличение коэффициента смертности, а также приводит к депрессии в производстве продуктов питания. Население, согласно этой несложной модели, достигает своей максимальной численности в 2030 г., а затем в течение 20-летнего периода резко падает до одной шестой этого наибольшего значения. Такой спад был бы всемирной катастрофой. Если бы это произошло, то оставалось бы только размышлять о том, какие части мирового населения пострадают особенно сильно. И вполне возможно, что наиболее развитые индустриальные страны, являющиеся источниками наибольшего загрязнения, оказались бы в наименьшей степени

## СПОСОБНЫМИ ВЫЖИТЬ В

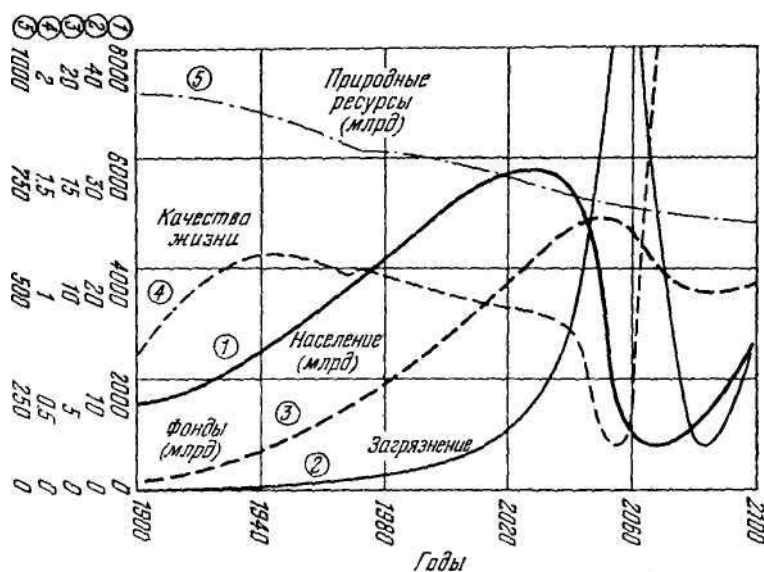


Рис. 1.7. Кризис загрязнения при уменьшении скорости использования природных ресурсов на 75% от уровня 1970 г.

условиях такого продовольственного кризиса и кризиса окружающей среды<sup>10</sup>. Они могут оказаться среди тех стран, которые испытывают основную тяжесть последствий такого характера развития мирового процесса. Сейчас возникает все больше сомнений в том, что технологический прогресс является средством спасения человечества. И имеются основания для такого сомнения. Из рис. 1.7 мы видим, как отдельный успех в технологии (ослабляющий нашу зависимость от природных ресурсов), предохраняя нас от одного удара судьбы,

<sup>10</sup> По-видимому, это неверно. Демографическая деградация действительно будет носить катастрофический характер, но произойдет она прежде всего за счет населения слаборазвитых (доиндустриальных) стран. Именно для этих государств характерны высокие темпы роста населения, вследствие чего на их территории плотность населения и производимые загрязнения достигнут максимума (тем более что туда вынесен ряд «грязных» производств промышленных стран). Кроме того, для ряда биологических видов, в том числе для крыс, «пределом роста» оказывается не нехватка продуктов питания, а взрывное развитие инфекционных заболеваний и генетических отклонений. Если предположить, что для человеческих популяций традиционной фазы это так (а весь ход истории подтверждает это), мы должны прогнозировать, что заболеваемость будет нарастать быстрее, нежели загрязнение среды или уровень нехватки продовольствия. Между тем слаборазвитые страны значительно более уязвимы в эпидемиологическом отношении, чем промышленные.

В настоящее время рост населения в странах с преобладающей традиционной экономикой обусловлен экономической и медицинской помощью Запада. (Прим. ред.)

может сделать жертвой другого (катастрофы вследствие загрязнения)<sup>11</sup>.

#### **1.4. ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА**

На протяжении последних 40 лет в Массачусетском технологическом институте разрабатывается эффективный метод анализа динамики сложных систем. Основа был заложена в 1930 г., когда В. Буш создал дифференциальный анализатор, предназначенный для решения уравнений, описывающих определенные типы простых инженерных проблем. Такой набор уравнений есть модель системы, которую они описывают. Такая модель описывает поведение системы. Дифференциальный анализатор, настраиваемый в соответствии с уравнениями (которые в этом случае представляют собой инструкцию), становится имитатором, прослеживающим динамику поведения изучаемой системы. В то время, когда Н. Винер развивал свои концепции о системах с обратными связями, которые впоследствии получили название «кибернетика», Х. Хазен написал несколько первых работ в области теории управления системами с обратными связями, которые получили название «сервомеханизмов». В 1940-х годах Г. Браун создал Лабораторию сервомеханизмов, в которой теория систем с обратными связями «развивалась, описывалась, изучалась и распространялась». В 50-х годах, когда автор этой книги был директором Лаборатории вычислительных машин и Отдела № 6 лаборатории им. Линкольна, для моделирования систем были впервые использованы вычислительные машины. Начиная с 1956 г. эта работа была продолжена в Школе управления им. Альфреда П. Слоуна.

Философия и методика используемого подхода, описанные ранее в «Industrial Dynamics» (1961 г. [2])<sup>12</sup> и «Principles of Systems» (1968 г. [8]), представляют собой теорию структур в динамических системах. «Urban

---

<sup>11</sup> Сформулированное здесь утверждение, следующее (как отмечает сам Форрестер) из «несложной» модели мировых взаимодействий, касается лишь одного аспекта сложной проблемы технического прогресса. Предполагая прогресс в технологии использования природных ресурсов, Форрестер одновременно не допускает возможности прогресса в области борьбы с загрязнением. (Прим. Н. М.) А вот здесь, скорее всего, Дж. Форрестер прав. По-видимому, невозможно, оставаясь в рамках индустриальной фазы развития, одновременно решить проблемы загрязнения среды, нехватки природных ресурсов и кризиса перенаселенности с вытекающим из него ростом статистики инфекционных заболеваний и генетических аномалий. Поскольку технический прогресс на практике неизбежно включает в себя фазу развития мощного «грязного» производства, прежде чем будут освоены экономичные высокотехнологичные безотходные технологии. (Прим. ред.)

<sup>12</sup> Русский перевод: Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия (индустриальная динамика). М.:

Dynamics» (1969 г. [5])<sup>13</sup> — это результат применения этой теории к изучению роста и стагнации урбанизированных районов. На протяжении ряда лет такая техника моделирования структур обратных связей социальных систем была известна как «индустриальная динамика», однако сейчас это наименование не соответствует содержанию, так как ее применение шире и оказывается эффективным и для моделирования других систем. В связи с тем, что метод может применяться к изучению любых сложных систем, лучшим названием, пожалуй, будет «системная динамика».

Она может быть применена к исследованию и корпоративной политики, и динамики заболевания диабетом в медицине, и социальных факторов, воздействующих на распространение наркомании в обществе, и изменений товарных рынков, и проведения научных работ, и развития организаций (см. [4, 6, 7, 11]).

На протяжении ряда лет преподавая динамику социальных систем, мы обнаружили, что простое описание процесса модельной формализации и машинной имитации не является эффективной формой обучения. Студент должен сам принимать непосредственное участие в этом процессе. Он должен сам осуществить и прочувствовать каждый этап исследования. Но большинство студентов не в состоянии представить себе модификацию метода при переходе от одной области применения к другой. Чтобы преодолеть эту трудность, стало необходимо создать рабочую модель. Мировая модель, описываемая в следующих главах, и была создана с этой целью.

## ***1.5. МЫСЛЕННЫЕ МОДЕЛИ СОЦИАЛЬНЫХ***

### ***СИСТЕМ***

В использовании моделей для представления социальных систем нет ничего нового. Каждый индивидум в своей личной и общественной жизни использует модели для принятия решений. Мысленный образ мира, окружающего нас, есть модель. Человек не несет в себе полных образов семьи, бизнеса, правительства

---

Прогресс, 1971. (Прим. ред.)

<sup>13</sup> Русский перевод: Форрестер Дж. Динамика развития города, М.: Прогресс, 1974. (Прим. ред.)



или страны. Он только отбирает концепции и взаимосвязи, которые затем использует, чтобы представить себе реальную систему. Мысленный образ — это модель. Все наши решения и действия определяются моделями. Вопрос заключается не в том, использовать или игнорировать модели, а состоит только в выборе между альтернативными моделями.

Мысленная модель — не строгая, а «размытая». Она несовершенна. Она неточно формулируется. Более того, даже у одной и той же личности мысленная модель изменяется со временем, например в течение беседы. Человеческий разум компоует некоторые взаимосвязи для того, чтобы приспособливаться к смыслу дискуссии. Как только изменяется субъект, меняется и модель. Даже когда обсуждается какая-то определенная тема, каждый участник разговора использует разные мысленные модели, посредством которых интерпретирует предмет беседы. Фундаментальные гипотезы меняются, но никогда явно не высказываются. Цели различны и остаются неидентифицированными. В связи с этим неудивительно, что компромиссы вырабатываются так долго, что даже согласованность ведет к действиям, вызывающим непредвиденные последствия<sup>14</sup>.

Человеческий ум отбирает некоторые концепции, которые могут быть справедливы или ошибочны, и использует их для описания окружающего нас мира. На основе этих предположений человек оценивает системное поведение, которое, как он полагает, свойственно системе. Если человек хочет улучшить поведение системы, он думает о том, какое действие следует предпринять, чтобы ее изменить. Однако этот процесс часто приводит к ошибкам.

Человеческий ум в высшей степени приспособлен к анализу элементарных сил и действий, составляющих систему, и очень эффективен при идентификации структуры сложной ситуации. Но опыт показывает, что наш разум не приспособлен для оценок динамических последствий в тех случаях, когда части системы взаимодействуют друг с другом.

---

<sup>14</sup> За минувшие десятилетия достигнуты значительные успехи в работе с неформализуемыми качественными моделями, которые Дж. Форрестер называет «размытыми». Речь идет прежде всего о мыследеятельностной методологии, конфликтологии, а также о технологии протоколов общения. (Прим. ред.)

## **1.6. МАШИННЫЕ МОДЕЛИ СОЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ<sup>15</sup>**

Подход, используемый здесь для исследования мировой системы, объединяет силу человеческого ума с мощностью современной вычислительной техники. Человек легко воспринимает отрицательные давления, опасения, цели, особенности, предубеждения, задержки, сопротивляемость к изменению, мотивы, доброжелательность, жадность и другие чисто человеческие характеристики, которые регулируют взаимосвязи между отдельными ячейками социальных систем. Только человеческий разум способен в настоящее время формировать структуры, в которых могут быть синтезированы отдельные изолированные куски информации. Но когда эти куски взаимосвязаны, разум становится уже недостаточным для целей предвидения, для изучения динамики поведения, которое свойственно системе.

Здесь может помочь инструмент — вычислительная машина, компьютер, позволяющий отслеживать взаимодействия любой специфичной системы взаимосвязей без каких-либо сомнений и ошибок.

Компьютер «инструктируется» заданной ему моделью. Модель — это набор предписаний, которые сообщают вычислительной машине о том, как функционирует каждая часть системы. Это и делает возможным создание реалистичных «лабораторных» моделей социальных систем. Такая модель, конечно, есть упрощение действительно существующей социальной системы, но она может быть значительно более детальной, чем мысленные модели, которые мы обычно используем как основу для обсуждений социальной политики<sup>16</sup>.

Машинная модель воплощает в себе теорию структуры систем<sup>17</sup>. В ней формализуются предположения о системе. Качество модели определяется лежащей в ее основе теорией. Лучшей машинной моделью является та, в которой

---

<sup>15</sup> Машинные модели вместе с математическим обеспечением и регламентацией их использования часто называют имитационными системами. (*Прим. Н. М.*)

<sup>16</sup> Как правило, она является не более, а менее детальной. Машинные модели в принципе не способны учитывать качественных изменений в системе (фазовых переходов), если только эти изменения не заданы явно — человеком, проектирующим модель. (*Прим. ред.*)

<sup>17</sup> Неясно, в каком именно смысле Дж. Форрестер использует понятие «структура системы». Если структура понимается как набор динамических противоречий, ассоциированных с системой, то такой теории пока не существует, поскольку не разработан аппарат, позволяющий работать с заведомо недифференцируемыми функциями. (*Прим. ред.*)

содержится больше существенных черт социальной системы, чем мы обычно можем себе представить. Построение машинной модели требует от нас полной ясности относительно предположений, на которых базируются наши мысленные модели. Когда предположения формулируются четко, это способствует более глубокому анализу и приводит к лучшему выбору из огромного числа деталей, содержащихся в наших мысленных моделях. Построение машинной модели вносит определенную строгость, которой не хватает дискуссиям и печатным материалам<sup>18</sup>.

И хотя ни одна из существующих сегодня машинных моделей социальных систем не может рассматриваться иначе как предварительная, многие начинают предпринимать попытки исследования поведения реальных систем. Это возможно потому, что такие модели вскрывают причины наших сегодняшних трудностей и, кроме того, объясняют неудачи попыток усовершенствования социальных систем. Несмотря на свойственные им недостатки, модели могут быть построены так, что они окажутся гораздо полнее интуитивных моделей, на основе которых мы моделируем будущую эволюцию сегодня.

Сформулировав предположения о том, каким образом различные части сложной системы взаимодействуют друг с другом, мы с помощью ЭВМ можем проследить функционирование всей системы во времени<sup>19</sup>, решая математические задачи в соответствии с правилами поведения, предписанными модельным

---

<sup>18</sup> В последние десятилетия имитационные социальные компьютерные модели получили не совсем обычное применение. Сейчас они используются прежде всего в походных стратегиях. (Очень удачным примером является линейка игр «Civilization», созданная С. Мейером и Б. Рейндоль-сом: в третьей версии этой игры используется системная модель Дж. Форрестера). Накоплен огромный опыт программирования, тестирования и игры в «имитационные системные модели». Нет никаких сомнений в том, что они довольно точно описывают крупномасштабную структуру истории, в том числе позволяют прогнозировать «неизбежное будущее». Но одновременно выяснилось, что эти модели содержат принципиальные ошибки, так как не учитывают субъективный фактор и не принимают в расчет инновационную деятельность. Для прошедших эпох структурные инновации вносятся в модель извне — в играх серии «Civilization» это делается через тщательно простроенное «дерево технологий». Но для будущего инновационные формы деятельности, как оказалось, не моделируются и не выдумываются. Тем самым по мере приближения к настоящему времени имитационные системные модели теряют содержательность. (*Прим. ред.*)

<sup>19</sup> Точнее было бы сказать, с помощью той логической цепочки, которую вычислительная машина способна реализовать точнее и быстрее, чем это может сделать человек. (*Прим. Н. М.*)

описанием. ЭВМ делает некоторые выводы из предположений, которые заложены в конструкции модели. Этот процесс моделирования использует великую силу человеческого интеллекта — его способность к восприятию окружающего мира, и устраняет величайшую слабость человеческого ума — его неспособность оценить все динамические последствия даже при правильном наборе системных предпосылок. Главы 2 и 3 иллюстрируют процесс перехода от обычных, причинных предположений о мировой системе к машинной модели, которая связывает эти предположения в единое целое. Затем компьютер показывает, какие последствия вытекают из исходных предположений (это обсуждается в главах 4, 5 и 6).

# СОДЕРЖАНИЕ

ОТ РЕДАКЦИИ .....	2
ПРЕДИСЛОВИЕ К ПЕРВОМУ РУССКОМУ ИЗДАНИЮ .....	5
ПРЕДИСЛОВИЕ .....	9
1. ВВЕДЕНИЕ .....	13
1.1. МИРОВАЯ СИСТЕМА .....	13
1.2. ПЕРЕХОД К РАВНОВЕСИЮ .....	22
1.3. ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ОБСУЖДЕНИЕ .....	27
РЕЗУЛЬТАТОВ .....	27
1.4. ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА .....	31
1.5. МЫСЛЕННЫЕ МОДЕЛИ СОЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ .....	32
1.6. МАШИННЫЕ МОДЕЛИ СОЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ .....	34
2. СТРУКТУРА МИРОВОЙ СИСТЕМЫ .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.1. СИСТЕМНАЯ ДИАГРАММА .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.2. ПЕТЛИ ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ, РЕГУЛИРУЮЩИЕ РОСТ НАСЕЛЕНИЯ .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.3. ПЕТЛИ ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ АЛЯ КАПИТАЛОВЛОЖЕНИЙ [ФОНДОВ] .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.4. ПЕТЛИ ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ ДЛЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.5. ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ НА ЕГО РОСТ .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.6. ВЛИЯНИЕ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ПИЩЕЙ НА РОСТ НАСЕЛЕНИЯ .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.7. ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА РОСТ НАСЕЛЕНИЯ .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.8. ВЛИЯНИЕ РЕСУРСОВ НА РОСТ НАСЕЛЕНИЯ .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3. МИРОВАЯ МОДЕЛЬ: СТРУКТУРА И ПРЕДПОЛОЖЕНИЯ .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.1. НАСЕЛЕНИЕ P .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.2. ТЕМП РОЖДАЕМОСТИ BR .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.3. МНОЖИТЕЛЬ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПА РОЖДАЕМОСТИ ОТ МАТЕРИАЛЬНОГО УРОВНЯ ЖИЗНИ BRMM .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.4. МАТЕРИАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ ЖИЗНИ MSL .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.5. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЕЛИЧИНЫ ФОНДОВ ECIR .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.6. МНОЖИТЕЛЬ ДОБЫЧИ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ NREM ...	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.7. ОСТАЮЩАЯСЯ ЧАСТЬ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ NRFR ...	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.8. ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ NR .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.9. ТЕМП ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ NRUR .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.10. ТЕМП СМЕРТНОСТИ DR .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.11. МНОЖИТЕЛЬ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПА СМЕРТНОСТИ ОТ МАТЕРИАЛЬНОГО УРОВНЯ	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.12. МНОЖИТЕЛЬ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПА СМЕРТНОСТИ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ DRPM .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.13. МНОЖИТЕЛЬ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПА СМЕРТНОСТИ ОТ УРОВНЯ ПИТАНИЯ DRFM ..	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.14. МНОЖИТЕЛЬ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПА СМЕРТНОСТИ ОТ ПЛОТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ DRCM	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.15. ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ CR .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.16. МНОЖИТЕЛЬ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПА РОЖДАЕМОСТИ ОТ ПЛОТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ BRSM	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.17. МНОЖИТЕЛЬ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПА РОЖДАЕМОСТИ ОТ УРОВНЯ ПИТАНИЯ BRFM	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.18. МНОЖИТЕЛЬ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПА РОЖДАЕМОСТИ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ BRPM .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.19. ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ ПИТАНИЯ FR .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.20. МНОЖИТЕЛЬ ЗАВИСИМОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ ОТ ПЛОТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ FCM .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.21. ПИЩЕВОЙ ПОТЕНЦИАЛ ФОНДОВ FPCI .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.22. ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЕЛИЧИНА ФОНДОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ CIRA ..	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.23. ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЕЛИЧИНА ФОНДОВ CIR .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.24. ФОНДЫ CI .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>

3.25.	ГЕНЕРАЦИЯ ФОНДОВ ОС.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.26.	МНОЖИТЕЛЬ КАПИТАЛОВЛОЖЕНИЙ CIM.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.27.	ИЗНОС ФОНДОВ CID.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.28.	МНОЖИТЕЛЬ ЗАВИСИМОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ FPM	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.29.	ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ POLR.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.30.	ЗАГРЯЗНЕНИЕ POL.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.31.	ОБРАЗОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ POLG.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.32.	МНОЖИТЕЛЬ ЗАВИСИМОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОТ ОБЪЕМА ФОНДОВ POLCM.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.33.	РАЗЛОЖЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ POLA.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.34.	ВРЕМЯ РАЗЛОЖЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ POLAT.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.35.	ЧАСТЬ ФОНДОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ CIAF.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.36.	ОПРЕДЕЛЯЕМАЯ ОТНОСИТЕЛЬНЫМ УРОВНЕМ ПИТАНИЯ ЧАСТЬ ФОНДОВ CRFR...	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.37.	КАЧЕСТВО ЖИЗНИ QL.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.38.	МНОЖИТЕЛЬ ЗАВИСИМОСТИ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ ОТ МАТЕРИАЛЬНОГО УРОВНЯ ЖИЗНИ QLM	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.39.	МНОЖИТЕЛЬ ЗАВИСИМОСТИ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ ОТ ПЛОТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ QLC	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.40.	МНОЖИТЕЛЬ ЗАВИСИМОСТИ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ ОТ ПИТАНИЯ QLF.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.41.	МНОЖИТЕЛЬ ЗАВИСИМОСТИ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ QLP.	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.42.	МНОЖИТЕЛЬ ЗАВИСИМОСТИ ДОБЫЧИ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ ОТ МАТЕРИАЛЬНОГО УРОВНЯ ЖИЗНИ NRMM.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.43.	ДОЛЯ КАПИТАЛОВЛОЖЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ CIQR.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
4.	ПРЕДЕЛЫ РОСТА.....	Ошибка! Закладка не определена.
4.1.	КАК ПОЛЬЗОВАТЬСЯ ГРАФИКАМИ.....	Ошибка! Закладка не определена.
4.2.	ИСТОЩЕНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ.....	Ошибка! Закладка не определена.
4.3.	КРИЗИС ЗАГРЯЗНЕНИЯ.....	Ошибка! Закладка не определена.
4.4.	ПРОБЛЕМА ПЕРЕНАСЕЛЕНИЯ.....	Ошибка! Закладка не определена.
4.5.	УМЕНЬШЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОГО УРОВНЯ ПИТАНИЯ.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.	ОЧЕВИДНЫЕ РЕШЕНИЯ НЕ ВСЕГДА ЯВЛЯЮТСЯ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНЫМИ...	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
5.1.	УВЕЛИЧЕНИЕ КАПИТАЛОВЛОЖЕНИЙ.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.2.	СОКРАЩЕНИЕ РОКААЕМОСТИ.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.3.	УМЕНЬШЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.4.	ПОВЫШЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.5.	ИТОГИ ГЛАВЫ.....	Ошибка! Закладка не определена.
6.	К ГЛОБАЛЬНОМУ РАВНОВЕСИЮ.....	Ошибка! Закладка не определена.
7.	ЭПИЛОГ.....	Ошибка! Закладка не определена.
	ПРИЛОЖЕНИЯ.....	Ошибка! Закладка не определена.
	А. СИСТЕМА ОБОЗНАЧЕНИЙ В УРАВНЕНИЯХ.....	Ошибка! Закладка не определена.
	В. УРАВНЕНИЯ МИРОВОЙ МОДЕЛИ.....	Ошибка! Закладка не определена.
	С. ОПИСАНИЕ ВЫРАЖЕНИЙ, УПОТРЕБЛЯВШИХСЯ В УРАВНЕНИЯХ.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
	ПОСЛЕСЛОВИЕ.....	Ошибка! Закладка не определена.
	«МИРОВАЯ ДИНАМИКА» ФОРРЕСТЕРА И АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ.....	Ошибка! Закладка не определена.
	О МЕТОДАХ СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ.....	Ошибка! Закладка не определена.
	О РЕЗУЛЬТАТАХ ИССЛЕДОВАНИЙ ФОРРЕСТЕРА.....	Ошибка! Закладка не определена.
	РАВНОВЕСИЕ — ЧТО ЭТО ЗНАЧИТ?.....	Ошибка! Закладка не определена.
	АЛЬТЕРНАТИВА.....	Ошибка! Закладка не определена.
	ПРОБЛЕМА РЕАЛИЗАЦИИ КОЛЛЕКТИВНЫХ УСИЛИЙ.....	Ошибка! Закладка не определена.
	ПИСЬМА РИМСКОМУ КЛУБУ.....	Ошибка! Закладка не определена.
	ПИСЬМО ПЕРВОЕ.....	Ошибка! Закладка не определена.
	ПИСЬМО ВТОРОЕ.....	Ошибка! Закладка не определена.
	ПИСЬМО ТРЕТЬЕ.....	Ошибка! Закладка не определена.
	ПИСЬМО ЧЕТВЕРТОЕ.....	Ошибка! Закладка не определена.
	ПИСЬМО ПЯТОЕ.....	Ошибка! Закладка не определена.

ПИСЬМО ШЕСТОЕ.....	Ошибка! Закладка не определена.
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	Ошибка! Закладка не определена.
РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ.....	Ошибка! Закладка не определена.