

Р. Г. Хлебопрос
А. И. Фет

ПРИРОДА И ОБЩЕСТВО

Модели катастроф



- [Р. Г. Хлебопрос, А. И. Фет.](#)
- [Введение](#)
- [Глава 1. Экологические микрокатастрофы](#)
 -
 - [Фазовые портреты](#)
 - [Прием отражения в биссектрисе](#)
 - [Простейшие популяционные процессы](#)
 - [Более сложные популяционные процессы](#)
 - [Пример экологического просчета](#)
 - [Классификация популяционных вспышек](#)
 - [Классификация популяционных процессов](#)
- [Глава 2. Экологический ущерб](#)
 - [Экологическое положение человека](#)
 - [Динамика экологического ущерба](#)
 - [Картина экологического бедствия](#)
 - [Экологические особенности России](#)
- [Глава 3. Штрафы и их последствия](#)
 -
 - [Связь экономики с экологией](#)
- [Глава 4. Глобальная экология и взаимодействие биосферы с техносферой](#)
 - [Экология и экономика](#)
 - [Энергопотребление](#)
 - [Парниковый эффект](#)
 - [Альтернативные источники энергии](#)
 - [Проблема народонаселения](#)
 - [Исторические оценки населения Земли](#)
 - [Население Земли в середине соответствующего года: 1950 – 2050](#)
- [Глава 5. Свободный рынок](#)
 - [Экология и собственность](#)
 - [Оптимизация производства и роль рынка](#)
 - [Себестоимость](#)
 - [Свободный рынок](#)
 - [Постулаты свободного рынка](#)
 - [Конкуренция](#)
 - [Правила рыночного поведения](#)
 - [Механизм образования цен](#)
 - [Рента](#)

- [Изменение численности населения](#)
 - [Качество товаров](#)
- [Глава 6. Динамика продаж](#)
 -
 - [Случай "честной конкуренции"](#)
 - [Случай "нечестной конкуренции"](#)
- [Глава 7. Рынок труда и капитализм](#)
 - [Рынок труда](#)
 - [Заработная плата](#)
 - [Капиталистическое производство](#)
 - [Расширение производства](#)
 - [Качество и технический прогресс](#)
 - ["Теории стоимости"](#)
 - [Природа капитализма](#)
 - [Общественное значение ренты](#)
- [Глава 8. Как бороться с безработицей](#)
 - [Проблема безработицы](#)
 - [Фазовый портрет доходов населения](#)
- [Глава 9. Рынок экологических объектов и конкуренция за их использование](#)
 - [Конкуренция ресурсов](#)
 - [Оптимальный принцип раздела участков](#)
- [Глава 10. Долговременные ориентиры в экономике и экологии](#)
 -
 - ["Параметр эгоизма"](#)
 - [Условия выгодности лесопосадок](#)
- [Глава 11. Замкнутые экологические системы и земная биосфера](#)
 -
 - [Энергетика космических кораблей](#)
 - [Жизнеобеспечение экипажа космических кораблей](#)
 - [Искусственные замкнутые биосферы](#)
 - [Земля – космический корабль](#)
- [Глава 12. Демократия в свете избирательных процедур](#)
 - [Представительное правление](#)
 - [Пропорциональная и мажоритарная избирательная система](#)
 - [Предельный случай двухпартийной системы](#)
 - [Условность избирательных процедур](#)
 - [Метод статистической выборки](#)
 - [Закон Ципфа – Парето](#)

- [Логика принятия решений](#)
 - [Комментарий](#)
 - [Заключение](#)
 - [Литература](#)
-

Р. Г. Хлебопрос, А. И. Фет.
Природа и общество.
Модели катастроф

Введение

Одна из главных причин беспокойства в современном мире – это опасение грозящих катастроф. Принято думать, что человеческое общество и его взаимодействие с природой слишком сложны, а потому экологические, экономические и социальные катастрофы непредсказуемы. Пытаясь их избежать, люди прибегают к "магическому мышлению", подставляя вместо неизвестных причин этих бедствий предполагаемые человеческие грехи. На этой основе возникают иррациональные "общественные движения", присвоившие себе старые названия "консерваторов" и "радикалов". Те и другие узнают о происходящих событиях от журналистов, доставляющих не только захватывающие подробности, но и готовые объяснения.

Преодоление трудностей, стоящих перед современным человечеством, не может быть достигнуто старыми, как мир, средствами магического мышления. Нас может спасти только рациональное мышление, требующее более серьезных усилий. Вопреки распространенному представлению, катастрофы *можно* предвидеть, и уже сейчас в ряде случаев можно сказать, как их избежать. Сложное переплетение вопросов экологии, экономики и политики можно распутать методами математического моделирования, составляющего главное содержание этой книги. Можно убедительно показать, что *экология и экономика вовсе не враждебны друг другу, а могут развиваться совместно, в симбиозе друг с другом.*

Нынешние "консерваторы", в отличие от прежних, обычно заявляют себя сторонниками прогресса, понимая под этим словом попросту неограниченное производство вещей. Многие из них хотели бы заниматься бизнесом так же беззаботно, как и сто лет назад, не обращая внимания на состояние окружающей среды и социальные последствия ее разрушения. Эти люди не принимают всерьез научные теории, полагаясь на "мудрость предков" и "здравый смысл". Выводы науки для них "правильны", если сулят им выгоду, и "неправильны", если обещают неприятности. В общем, это стиль мышления, описываемый русским выражением "благие пожелания", или английским "wishful thinking".

Нынешние "радикалы", напротив, часто оказываются врагами прогресса. Они тоже хотели бы вернуться в прошлое, но в более далекое прошлое, когда наши предки жили, как предполагается, в гармонии с "чистой" природой. Некоторые из них панически боятся науки и техники,

компенсируя лихорадочной общественной деятельностью свою утраченную религию. Опасения таких людей, не знающих экологии, часто используют политики, не брезгающие никакими средствами для захвата власти – в Соединенных Штатах это бюрократы, расширяющие свой контроль над населением, а в Германии и России – шовинистические группировки. Для сохранения природы нужны вовсе не "общественные кампании" и не запугивание населения, а надежная научная информация и основанный на ней диалог.

Некоторые экологические факты достаточно известны, и неумение справиться с ними, приводящее к катастрофам, связано не с уровнем наших знаний, а с социальными и политическими причинами. Читатель найдет в этой книге описание безответственной политики бывшего советского правительства, всегда проявлявшего равнодушие к условиям жизни населения, если это не касалось особых мест, резервированных для высших чиновников. Особенно тяжелые экологические последствия это вызвало на Урале и в Сибири, где обширные пространства и сравнительно редкое население позволяли, по представлениям наших бывших правителей, строить любые предприятия без заботы об очистных устройствах. Поскольку на крупных предприятиях снижаются расходы на единицу продукции, там строили предприятия-монстры, часто крупнейшие в мире, совершенно пренебрегая при этом здоровьем рабочих и окружающего населения. Это население росло в ближайшей окрестности предприятий, располагавшихся возле залежей руды или вдоль Транссибирской железной дороги. В этих местах возникла высокая плотность населения, живущего в гораздо худших экологических условиях, чем в любой части Европы. Типичными примерами являются Нижний Тагил на Урале, Кузнецкий Бассейн и Красноярск в Сибири.

Пренебрежение здоровьем и жизнью собственных граждан неизбежно приводит к последствиям, опасным для окружающих стран и всего человечества. Загрязнение Черного и Балтийского морей неоднократно вызывало протесты со стороны соседних государств, а чернобыльская катастрофа, вызванная почти невероятным самоуправством малограмотных инженеров, обратила внимание всего мира на глобальную опасность, происходящую от такого способа хозяйствования. Другой известный пример представляет загрязнение Байкала, где ради мелких ведомственных интересов уничтожается уникальный бассейн чистой пресной воды, драгоценный для всей будущей цивилизации. Правительство России до сих пор ничего не сделало для исправления этих безобразий.

Еще один пример экологического бедствия, имеющего глобальные

последствия, – это уничтожение тропических лесов в бассейне Амазонки. В этом случае проявляется общее правило, по которому экологические преступления нельзя локализовать: они так или иначе вредят всем людям, потому что атмосфера и вода всей Земли нераздельны и в конечном счете отражают всю техническую деятельность на Земле. Амазонские леса доставляют значительную часть кислорода, которым мы дышим, и этот кислород является собственностью всех людей, а не только Бразилии. Протесты общественного мнения заставили принять меры, ограничившие вырубку этих лесов, но опасность еще далеко не устранена.

В книге рассматривается также проблема так называемого "парникового эффекта" – нагревания земной атмосферы вследствие промышленного выброса углекислого газа. Современная энергетика, основанная на сжигании угля, нефти и газа, ежегодно выбрасывает в атмосферу более *семи миллиардов тонн* этого газа. Так как в этом случае замешаны крупные денежные интересы, публику обманывают: журналисты, и даже некоторые "ученые" доказывают, будто Земля вообще не нагревается, или нагревается не от этой причины. К сожалению, *парниковый эффект реален*, и если продолжится сжигание углеродных топлив, непрерывно возрастающее в течение столетия, то через 50 – 70 лет от этого произойдут катастрофические результаты. Конечно, взрослые люди, не рассчитывающие прожить так долго, могут не беспокоиться о своих детях и внуках. Явления этого рода ставят перед человечеством этические проблемы, не имеющие аналогов в истории: в наше время человеческая техника стала фактором космического масштаба. Загрязнение атмосферы углекислым газом – как еще не все понимают – необратимо: "очистка" от него была бы предприятием вроде создания искусственной атмосферы на Марсе и других подобных проектов, удающихся только в фантастических романах.

В этой книге содержатся также новые методы, имеющие практическое значение для контроля над окружающей средой. Приведем несколько примеров. Как известно, далеко не все владельцы предприятий сознают свою ответственность перед окружающим населением: некоторые из них готовы выбрасывать отходы прямо на головы своих сограждан. Чтобы обуздать таких хозяев, есть только одно действенное средство: экономическое принуждение с помощью экологических платежей, в том числе, не обязательно вынуждающих закрывать предприятия штрафов. Но очень часто штрафы не приносят экологической пользы: если они недостаточны, хозяева предпочитают платить штрафы, чем ставить очистные устройства. В таких случаях штрафование превращается в

особый вид рэкета, без всякого улучшения экологической обстановки. В этой книге предлагается теория штрафов, позволяющая понять существующее положение и довести штрафы до полезного уровня, что не обязательно приводит к закрытию предприятий.

Предлагается также теория накопления загрязнений. Уже давно английские экологи столкнулись с тем фактом, что движение автомобилей по дороге, где тщательно контролируется состав выхлопов, может привести к опасному накоплению тяжелых металлов в нескольких сотнях метров от такой дороги. Оказывается, можно объяснить и точно предсказать такие эффекты.

Третий пример новых методов – это разработанные в Красноярске искусственные замкнутые биосферы, впервые доказавшие возможность получать от растений все питание, кислород и воду, необходимые человеку. Эти биосферы, получающие извне только энергию, являются прообразом межпланетных ракет и баз на других планетах, рассчитанных на длительное пребывание людей. По существу в Красноярске уже разработан практически осуществимый план базы на Луне. Опыт искусственных биосфер, заранее рассчитанных на заданный режим, может быть полезен и на Земле, для поддержания требуемых условий на заводах, в шахтах и в жилых помещениях.

Для будущего человечества важна эмоциональная установка по отношению к природе, не всегда воспитываемая в нынешних семьях и школах: *надо учиться любить природу*. Можно, конечно, сознавать свою зависимость от природы и рассчитывать отношения с ней, добиваясь от нее тех или иных выгод. Но при этом эмоции могут оставаться по существу враждебными природе: ей делают уступки, как врагу. Такая установка не сулит людям ничего хорошего, потому что у врага всегда ищут слабые места и промахи, сразу же их используют и, в конечном счете, радуются, когда удается от него избавиться. Но мы сами – часть природы, и не можем от нее избавиться, как не можем избавиться от самих себя. Не любить природу – значит жить в разладе с самим собой, с неизбежными инстинктами, восходящими к нашим предкам. Можно с уверенностью сказать, что человек, лишь извлекающий выгоды из природы, не может быть счастлив. Это чувствуют миллионы людей. Как правило, они не владеют экологическими знаниями и обращают внимание не на самые важные предметы. Эта книга может дать им, при небольшой затрате труда, возможность более осознанно принимать решения.

Экономические катастрофы, рассматриваемые в этой книге, возникают в условиях рыночной экономики, обычно называемой

капитализмом. Менее актуален вопрос о тоталитарной системе экономики, уже доказавшей свою неэффективность и находящейся теперь в стадии распада. Что касается капитализма, то он, напротив, в нашем столетии доказал свою эффективность, резко увеличив производство путем "тиражирования" изобретений и новых технологий, что привело – по крайней мере в "развитых" странах – к многократному росту материального уровня жизни населения. К несчастью, капитализм принес с собой также наемный труд, заменивший осмысленный труд крестьянина и ремесленника механическим обслуживанием машин. Впрочем, в этой книге пойдет речь о других экономических катастрофах.

Одна из них – это вездесущая и сплошь и рядом недобросовестная *агрессивная реклама*. Как показывает излагаемая в этой книге новая теория продаж, такая реклама по существу деформирует свободный рынок, обычно рассматриваемый как главный признак капитализма, и уничтожает все преимущества этого способа производства. Можно сказать, что реклама в ее нынешнем виде – это самоубийство капитализма. Реклама, в особенности телевизионная реклама, служит также средством управления, превращая всех людей преимущественно в потребителей и навязывая им вредные шаблоны потребления, усредняя их вкусы и привычки и поддерживая в них те формы поведения, которые Эрих Фромм (еще задолго до появления телевидения!) назвал *бегством от свободы*.

Другая экономическая – и в то же время социальная – катастрофа – это изменение установок людей по отношению к потомству. Как показывается в этой книге, в наше время резко меняются долговременные ориентации населения. Люди все меньше заботятся о своих детях и внуках, предпочитая лично потреблять все свое достояние. А это, в свою очередь, вызывает экологические катастрофы, поскольку экологические объекты – такие, как лес, пахотная земля, источники воды – имеют длительное время восстановления, намного превосходящее продолжительность человеческой жизни. Сохранение этих объектов с древнейших времен входило во все культурные традиции, но, по-видимому, становится чуждым нашей культуре. Коэффициент, оценивающий это явление, вычисляется в этой книге с помощью земельной ренты и других аналогичных показателей.

Социальные катастрофы, рассматриваемые в этой книге, относятся к ограниченному, но важному классу явлений, угрожающих существованию демократии. Первое из них – это эффекты "искусственного экстремизма", когда неудачная избирательная процедура способствует концентрации власти в руках небольших, но сплоченных крайних группировок, в то же время оттесняя от власти умеренное большинство избирателей, расколотых

на многочисленные мелкие партии.

Другой порок избирательной системы, который также может привести к катастрофическим последствиям, можно описать как патологическое извращение "мажоритарной" системы выборов, при котором большинство партий не просто проигрывает выборы в муниципальные органы или в парламент, а вовсе лишается представительства в них, между тем как одна, не обязательно очень сильная партия захватывает все места.

Наконец, в этой книге рассматриваются способы фальсификации выборов, применяемые в России и не имеющие аналогов в избирательной практике развитых стран, где демократия имеет прочные традиции. Поскольку в России не разрешают обычные формы проверки публикуемых результатов, а опросы общественного мнения чаще всего недобросовестны или некомпетентны, излагается новый метод, позволяющий почти без затрат обнаруживать фальсификации выборов по опубликованным данным. Средством такой проверки оказывается "закон Парето", перенесенный в эту область из биологии и экономики.

Общество, где не удовлетворяются простейшие физиологические нужды человека, часто равнодушно к экологическим бедствиям. Но в наше время, когда прямая угроза голода в большинстве стран исчезает из общественной жизни, экологические условия начинают играть все большую роль, и вокруг них – больше, чем вокруг экономических проблем – будут развиваться социальные конфликты. Это оправдывает особое внимание к экологии в предлагаемой книге. При этом экономика приобретает новое значение, поскольку экологические объекты, ценность которых начинают осознавать, неизбежно становятся рыночным товаром, часто более желанным для потребителя, чем все другие.

Мы не предполагаем у читателя никаких знаний об экологии, экономике или политических системах. Этим вопросам посвящены отдельные циклы нашего изложения. При этом мы старались сделать каждый из этих циклов законченным и внутренне убедительным, подчеркивая взаимодействие описываемых структур.

Методы математического моделирования применяются в этой книге к биологическим и общественным системам, что нередко вызывало возражения. Некоторые философы, настаивая на особой сложности этих систем, подчеркивали традиционное противопоставление "точных" и "неточных" наук. Такое деление наук высмеял крупнейший биолог нашего века Конрад Лоренц. Достоверность научных результатов зависит не от степени применения математики, а от строгости постановки задач и оценки результатов. Методы математики, конечно, проникают в каждую науку по

мере ее развития. Они давно уже доказали свою полезность в экономической науке. Роль математики в биологии также возрастает: на наших глазах возникает теоретическая биология, напоминающая теоретическую физику систематическим применением математики. В экологии этот процесс принес уже важные результаты. Мы умеем теперь понять функционирование биоценозов – естественных сообществ растений и животных. Необходимые для этого расчеты напоминают скорее методы физики твердого тела, чем небесной механики. Это относится также к системам, состоящим из промышленных предприятий с их природным окружением, от которых зависит выживание человека. Для таких расчетов часто бывает полезен применяемый в этой книге метод "фазовых портретов". Он восходит к предложенному Ньютоном "методу быстрейшего спуска" и, следовательно, так же стар, как дифференциальное исчисление. Мы применяем только элементарную математику, да и то в умеренных пределах, иллюстрируя наше изложение множеством рисунков. В двух или трех местах сделаны добавления, напечатанные мелким шрифтом, где используются методы высшей математики. Эти места могут быть опущены читателем без ущерба для понимания основного содержания книги.

Глава 1 представляет введение в экологию и в метод фазовых портретов на материале популяций насекомых с ежегодной сменой поколений. Такие популяции поддаются полной классификации, служащей образцом будущей популяционной экологии. В главе 2 рассматривается динамика промышленного загрязнения, весьма напоминающего нашествие насекомых и исследуемого тем же методом фазовых портретов. Глава 3 говорит о методах борьбы с экологическим ущербом – о серьезных и несерьезных штрафах. В главе 4 мы переходим от "локальной" экологии к "глобальной", ограничиваясь здесь тремя динамическими процессами: потреблением энергии, ростом народонаселения и "парниковым эффектом". В этой же главе дается сравнительная экологическая оценка разных видов энергии.

Главы 5 – 8 составляют "экономический цикл". В главе 5 дается новое изложение теории свободного рынка и образования цен, восходящей к Адаму Смиту. При этом от читателя не требуется никакого знакомства с экономической наукой. Глава 6 содержит новую теорию продаж и рекламы. В главе 7 описывается рынок рабочей силы в его нынешнем виде и формирование заработной платы. Глава 8 резюмирует проблему безработицы, в особенности появление класса хронически безработных.

Глава 9 стоит на границе экологии и экономики: в ней описывается

конкуренция между двумя видами эксплуатации природных ресурсов.

Глава 10, пограничная между экологией и социальной психологией, объясняет долговременные экологические мотивы населения.

Глава 11 посвящена "космической" экологии и ее "земным" применениям. Здесь рассказывается об уникальном эксперименте красноярских биофизиков – искусственных замкнутых биосферах. Полученные результаты могут быть применены не только в Космосе, но и в земных условиях – рассматривая Землю как большой космический корабль.

Глава 12 содержит "политический цикл", в том числе анализ избирательных процедур и некоторые новые процедуры голосования, устраняющие искажение воли избирателей.

В Заключении говорится о *неэкономической мотивации человеческого поведения*. Такая мотивация, которую мы называем "творческой", в наше время подавляется рыночными стимулами, но ей принадлежит будущее – если только нашему виду суждено выжить.

Параграф о проверке результатов выборов с помощью закона Ципфа – Парето написан, по нашей просьбе, В.Г. Суховольским, впервые применившим этот метод к избирательным процедурам. Мы благодарны ему также за критику остальной части последней главы, за которую несем ответственность только мы.

Мы благодарим И.И. Гительзона, внимательно прочитавшего всю книгу и сделавшего ряд замечаний и поправок.

В.В. Межевикин помог нам своими консультациями по биохимии, что позволило уточнить изложение главы об искусственных биосферах. Мы благодарны ему за внимание к нашей книге и положительную оценку ее мотивов.

Неоценимую помощь оказал нам также В.А. Слепков, критические замечания которого особенно повлияли на изложение главы о свободном рынке.

Глава 1. Экологические микрокатастрофы

Мы начнем с простейшей модели, позволяющей понять ряд важных проблем: стабилизацию популяций, циклические процессы в популяциях и вспышки массового размножения. Как мы увидим, эта модель позволяет без вычислений, с помощью простых графиков описать и прогнозировать внезапное многократное возрастание численности популяции, которое и называется "вспышкой массового размножения". В некоторых случаях такие вспышки провоцировал человек, привозя новые виды животных и растений в страны, где отсутствовали условия, регулирующие их численность, – например, где у них не было естественных врагов: так произошло в Австралии размножение кролика, ввезенного туда европейскими колонистами, или в Европе и Азии размножение американского вредителя картофеля – случайно завезенного колорадского жука. Но надо иметь в виду, что такие вспышки размножения были всегда, и независимо от человека: это общее явление природы, как можно видеть в общеизвестных нашествиях мышей, леммингов или саранчи.

Закономерности этого явления проще всего объяснить в случае размножения насекомых, питающихся деревьями. Классический пример их вспышек размножения представляет хорошо изученный черный большой усач, обитающий в Саянских горах. Вспышка начинается, когда насекомые почти не заметны в лесу, но за несколько лет их число возрастает в 10 раз, и вспышка прокатывается по лесу, уничтожая на своем пути значительную часть деревьев, затем она затухает, и насекомых опять почти не видно.

Фазовые портреты

Для изучения динамики популяции важно знать, каким образом по численности насекомых в текущем году можно предсказать, сколько их будет в следующем. Пусть на некотором участке в текущем году оказалось K насекомых, а в следующем – M . Тогда отношение M/K измеряет, во сколько раз увеличилось число насекомых (если это отношение больше 1), или уменьшилось (если оно меньше 1). Отношение M/K называется коэффициентом размножения рассматриваемого вида на выбранном участке. Если природные условия на участке мало меняются, а насекомые распределяются на нем равномерно, то их численность пропорциональна площади, и отношение M/K для любой части участка одно и то же. Поэтому достаточно брать для исследования участки одной и той же площади, например, в 1 кв. километр. Конечно, в разных частях леса отношение M/K может быть различно, в зависимости от природных условий, и – что наиболее важно для дальнейшего – оно может меняться от года к году: в самом деле, уже имеющаяся численность насекомых должна влиять на процесс размножения, поскольку от нее зависит, сколько остается в лесу пищи и удобных мест для поселения. Ясно, например, что если насекомых становится слишком много, то есть происходит перенаселение, то их размножение должно замедлиться, так как часть потомства не может выжить.

Таким образом, если известно только число насекомых данного вида K , живущих на участке в 1 кв. километр, то нет простого правила, позволяющего предсказать их число M в следующем году. Для изучения этого вопроса служит описываемый ниже метод "фазовых портретов".

Назовем "стандартным наблюдением" подсчет в текущем году числа насекомых рассматриваемого вида K на данном участке и числа тех же насекомых M на том же участке в следующем году. Стандартное наблюдение дает пару чисел (K, M) , которую можно изобразить геометрически с помощью координат. Для этого построим на плоскости две перпендикулярные оси (рис.1) и выберем на обеих осях одну и ту же единицу масштаба (означающую, скажем, 1000 насекомых). Будем откладывать число K по горизонтальной оси (оси абсцисс), а число M – по вертикальной (оси ординат). Тогда результат стандартного наблюдения – пара чисел (K, M) – изображается точкой P плоскости с координатами (K, M) : на рис.1 $K = 5000$, $M = 6000$. Это значит, что в первый год на участке

оказалось 5000 насекомых, а во второй год наблюдения – 6000.

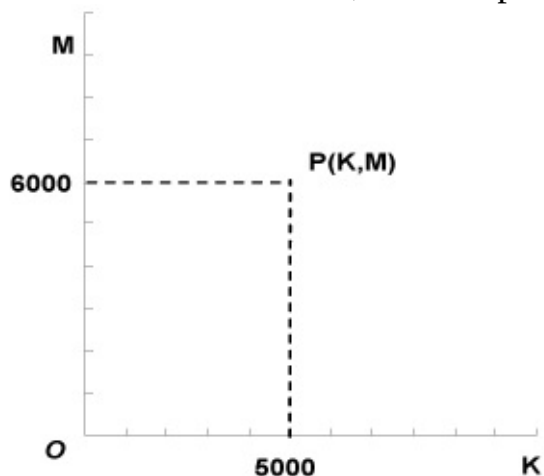


Рис.1

Теперь представим себе, что в изучаемом лесу в течение ряда лет производится множество стандартных наблюдений, на разных или на одних и тех же участках. Изображая результат каждого наблюдения точкой плоскости (K,M), мы получаем "облако" точек (рис.2), называемое фазовым портретом интересующей нас популяции.

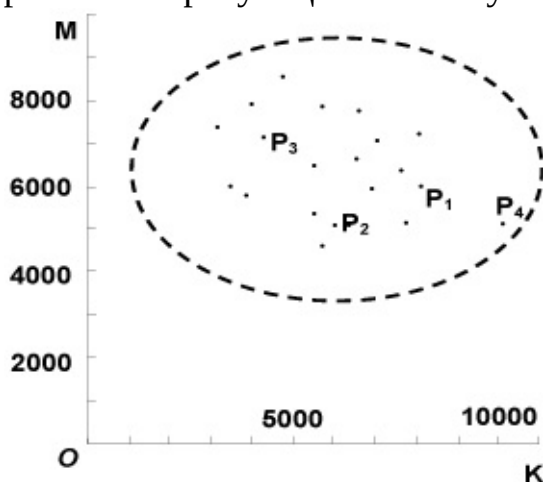


Рис.2

Каждая точка "облака" изображает два числа, полученные подсчетом на одном и том же участке в два последовательных года. Так, точка P_1 может означать, что в 1985 году на некотором участке было обнаружено 8000 насекомых (абсцисса точки), а в следующем 1986 году на том же участке 6000 насекомых (ордината точки). Точка P_2 может изображать стандартное наблюдение на том же участке, в котором исходная популяция в 1986 году (6000) превращается в 1987 году в 5000. Таким образом, точки

P_1 , P_2 изображают два последовательных стандартных наблюдения на одном и том же участке. Точка P_3 может относиться к тому же, или к другому участку, где стандартное наблюдение было проведено в 1992 году (с результатом 8000) и в 1993 году (с результатом 11000). Точка P_4 означает, что на каком-то участке в 1990 году оказалось 14000 насекомых, а в 1991 году – 8000.

Хотя может оказаться, что разные точки "облака" относятся к одному и тому же участку (и к разным годам наблюдения), в общем случае они относятся к разным участкам и изображают результаты многолетних наблюдений, каждое из которых производится в два последовательных года. Можно спросить себя, содержат ли полученные данные какую-либо *зависимость* между числом K – численностью популяции в текущем году – и числом M – численностью популяции на том же участке в следующем году. В общем случае такой зависимости нет, поскольку для одной и той же абсциссы K в облаке может быть *много* точек с различными ординатами M . Это означает, что размножение насекомых зависит не только от исходного их количества, но и от каких-нибудь природных условий – качества леса на участке, погоды в выбранном для наблюдения году и т.д. (напомним, что площадь участка всегда берется стандартной – 1 км^2).

Но в ряде важных случаев все эти факторы оказываются не очень существенными, а главное значение имеет численность исходной популяции K . В таких случаях "облако" рис.2 принимает "вытянутую" форму, изображенную на рис.3а. Сужение облака означает, что (предполагая наблюдения достаточно полными) при данном значении K популяция в следующем году всегда оказывается лишь в узких пределах (M_1 , M_2).

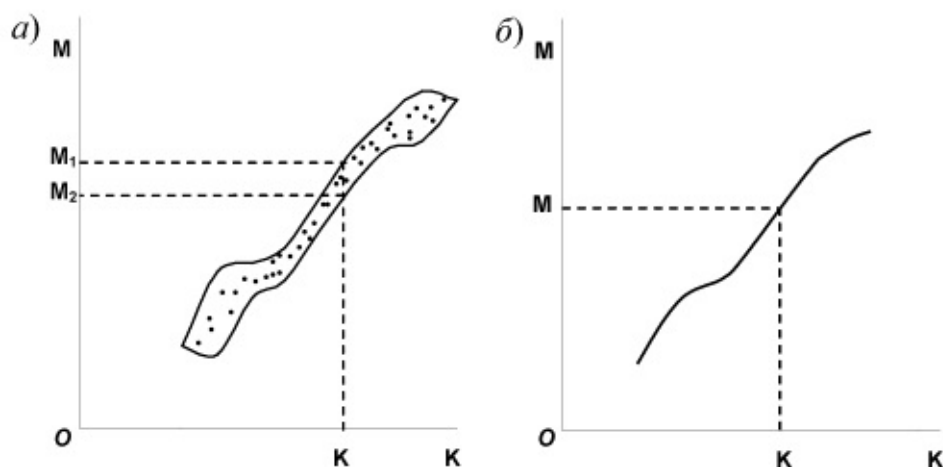


Рис.3а и 3б

Если "облако" достаточно узко, то его можно приближенно заменить кривой (рис.3б), воспроизводящей его форму и играющей роль приближенного фазового портрета популяции. Конечно, при этом мы "огрубляем" наше описание размножения популяции, не учитывая колебаний M в зависимости от природных условий и погоды и оставляя лишь зависимость M от K , т.е. от численности исходной популяции: в самом деле, на рис.3б при заданном K соответствующее значение определяется точкой пересечения кривой с вертикалью, на которой абсцисса равна K , и больше ни от чего не зависит. Такая зависимость между величинами, при которой значение первой величины (аргумента) полностью определяет значение второй (функции), называется функциональной зависимостью. Рис.3б изображает зависимость M от K ; здесь K – аргумент, M – функция, а кривая на рисунке – график этой функции. Читатель может найти по этому графику несколько значений M , произвольно задавая значения K .

Конечно, процедура перехода от "узкого облака" на рис.3а к графику рис.3б очень типична и встречается во всех случаях, когда функциональные зависимости получаются из опыта (или, как говорят, являются "эмпирическими" зависимостями). В действительности облако может быть значительно уже, чем на рис.3а, и приближение 3б оказывается значительно точнее. Мы будем считать, что в нашей задаче о размножении насекомых (и в ряде других задач, рассматриваемых дальше) такое приближение законно. Естественно, это предположение должно быть подтверждено опытом, и в целом ряде вопросов оно в самом деле хорошо подтверждается. Итак, в качестве фазовых портретов мы будем чаще всего

рассматривать кривые – графики функций.

В простейших случаях, изучаемых в курсе средней школы, функции могут быть выражены в виде формул, позволяющих по заданному значению аргумента вычислить соответствующее ему значение функции (например, в наших обозначениях: $M = K^2$, $M = (K+1)^3$, $M = \lg K$). Такие формулы получаются обычно из математики или из физических теорий, описывающих достаточно простые явления природы. В экологии и родственных ей областях (например, в экономике и социологии) ситуации более сложны, и описание их с помощью формул удается редко. Как правило, в таких вопросах приходится довольствоваться "эмпирическими" зависимостями вроде кривой Зб. Нам надо научиться исследовать такие эмпирические зависимости.

На рис.4 изображен ряд точек $P_1, P_2, \dots$, полученных путем многолетних "стандартных наблюдений" и "укладывающихся" на эмпирическую кривую, которую мы проводим через них и считаем фазовым портретом изучаемого явления. Для точки P_1 имеем $K_1 = 3000$, $M_1 = 5300$.

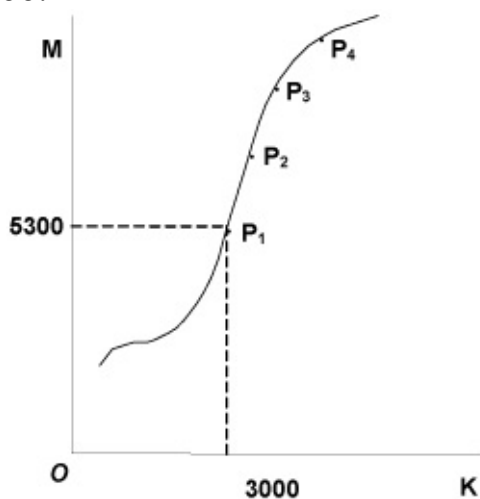


Рис.4

Ясно, что "облако" рис.2 невозможно уложить на одну кривую, так что в этом случае излагаемые далее методы неприменимы. "Облако" рис.3а плохо изображается кривой Зб; дальше предполагается, что наблюдения дают значительно более узкое "облако", практически совпадающее с такой кривой, что и происходит в ряде случаев.

На рис.5 изображено несколько графиков, "общий вид" которых позволяет делать заключения о ходе соответствующего процесса. Поясним, что означает здесь выражение "общий вид кривой". Кривая 1 поднимается снизу вверх, так что большему значению K соответствует на ней большее

значение M ; такая функция M от K (в записи: $M = M(K)$) называется возрастающей. Кривая 2 опускается, так что при увеличении K ордината точки этой кривой M убывает; такая функция называется убывающей. Кривая 3 изображает функцию, которая сначала убывает, а затем, пройдя через наименьшее значение (минимум), возрастает. (Постройте график функции, имеющей наибольшее значение – максимум).

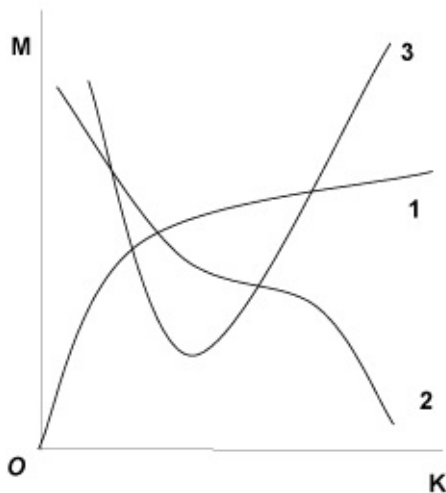


Рис.5

Кривая 1 *выпукла*; это значит, что если соединить отрезком прямой (хордой) две любых ее точки, то отрезанная дуга лежит выше хорды. Выпуклая кривая напоминает по форме сосуд, обращенный дном вверх. Кривая 3 *вогнута*; это значит, что любая ее хорда отсекает дугу, лежащую ниже этой хорды. Вогнутая кривая похожа на сосуд, обращенный дном вниз. Кривая 2 сначала вогнута, а затем становится выпуклой; участки вогнутости и выпуклости разделяются на этой кривой точкой перегиба (найдите ее на кривой).

Прием отражения в биссектрисе

Как мы увидим, фазовый портрет – кривая, полученная в течение многолетних наблюдений – позволяет предсказывать изменение численности популяции на много лет вперед. Для этого очень полезен излагаемый ниже геометрический прием, используемый также для прогнозирования многих других явлений.

Для многих популяций фазовый портрет представляет собой выпуклую кривую, исходящую из начала координат O (точки пересечения координатных осей) и пересекающую биссектрису координатного угла в единственной точке 1 (рис.6).

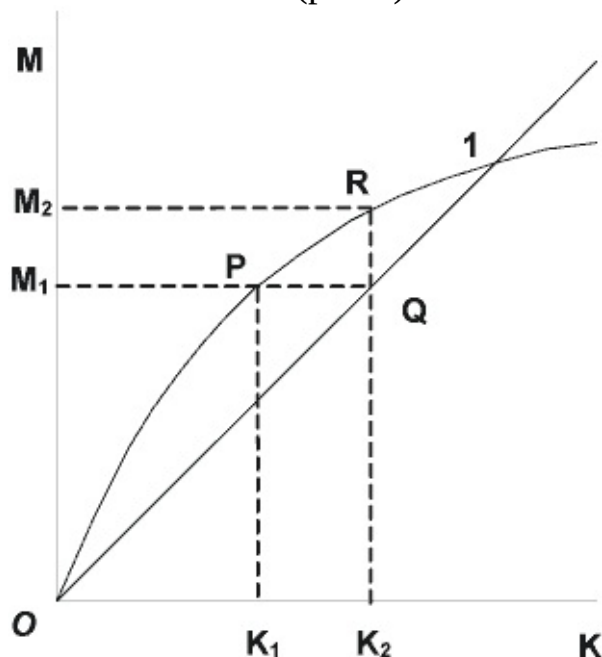


Рис.6

Мы рассмотрим этот часто встречающийся случай. Начало координат O изображает "самое простое" стандартное наблюдение: $K = 0$ означает, что в "текущем" году насекомых вовсе не было, а $M = 0$ – что в "следующем" году их тоже не было – что вполне естественно. Конечно, повторные наблюдения дадут тот же результат, что и предсказывается фазовым портретом: если в некотором году численность популяции равна нулю, то она будет равна нулю и в следующем году. Это значит, что популяция вымерла. Точка фазовой кривой, где популяция постоянна, т.е. где $M = K$, называется стационарной, а соответствующее состояние популяции называется стационарным состоянием; отсюда ясно, почему биссектриса –

геометрическое место точек, где $M = K$ – играет важную роль в дальнейших исследованиях. Кроме начала координат, на рис.6 есть еще одна стационарная точка – это точка пересечения 1 фазовой кривой с биссектрисой. Если координаты этой точки (не обозначенные на рис.6) равны K_c , M_c (с означает "стационарность"), то $M_c = K_c$, и если в каком-то году популяция насчитывает в точности K_c особей, то и в следующем году их будет столько же, и через любое время – то же число. Но, конечно, такое точное равенство бывает очень редко, а на практике K может быть *близко* K_c . Что произойдет в этом случае, мы увидим в дальнейшем, а пока рассмотрим популяцию, численность которой в первый год наблюдения K_1 положительна, но меньше K_c . Чтобы предсказать численность той же популяции в следующем году, надо воспользоваться фазовой кривой: взять на ней точку P с абсциссой K_1 (рис.6), и тогда ордината M_1 этой точки даст нам прогноз численности в следующем году.

Но теперь мы можем повторно воспользоваться той же фазовой кривой и предсказать численность этой же популяции *еще через год*. Для этого надо взять точку кривой R с абсциссой K_2 , равной M_1 , поскольку теперь M_1 будет численностью исходной популяции, и найти ординату M_2 точки R : это и будет численность популяции через год после того, как она была равна M_1 . Переход от точки графика P к точке R можно упростить, заметив, что если $OK_2 = OM_1$, то на отрезках OK_2 и OM_1 можно построить квадрат, вершина которого Q лежит на биссектрисе (так как биссектриса как раз состоит из точек, равноудаленных от осей). Чтобы найти точку Q , достаточно построить горизонтальную прямую, проходящую через точку P , до пересечения ее с биссектрисой – как раз в точке Q . Но точка R , по ее построению, имеет ту же абсциссу K_2 , что и точка Q . Поэтому, чтобы найти точку R , достаточно провести через Q вертикальную прямую, которая пересечет график в искомой точке R .

Теперь ясно, что численность популяции через год после численности M_1 (то есть M_2) геометрически определяется переходом из точки графика P в другую точку графика R , который можно выполнить по следующему правилу:

Надо провести через P горизонталь до пересечения с биссектрисой в точке Q , а затем через Q вертикаль до пересечения с графиком в точке R .

При этом можно не строить, как на рис.6, точки K_1 , K_2 и отрезки K_1P , K_2Q : достаточно следить за ординатами M_1 , M_2 . Чтобы предсказать по

численности популяции M_1 численность ее в следующем году, достаточно построить прямоугольник M_1QRM_2 . Как мы увидим дальше, повторение этой процедуры позволяет предсказать развитие популяции в целом ряде случаев.

Отрезки PQ, QR образуют с биссектрисой равные углы (в 45°), так же, как это происходит при отражении от зеркала световых лучей. Отсюда ясно, почему мы назвали только что описанный прием "отражением в биссектрисе".

Простейшие популяционные процессы

На рис.7 изображен важный и часто встречающийся вид зависимости $M(K)$, при котором фазовая кривая выпукла, проходит через начало координат O и пересекает биссектрису координатного угла в единственной точке, обозначенной цифрой 1. Ясно, что начало координат, где $K = M = 0$, представляет собой точку равновесия популяции, но неинтересную, поскольку в ней популяция попросту отсутствует. Эта точка равновесия приобретает значение в тех случаях, когда точка кривой P приближается к O : это значит, что популяция гибнет. Как видно из предыдущего анализа, при рассматриваемом виде фазовой кривой это не может произойти, так как с каждым годом численность ее

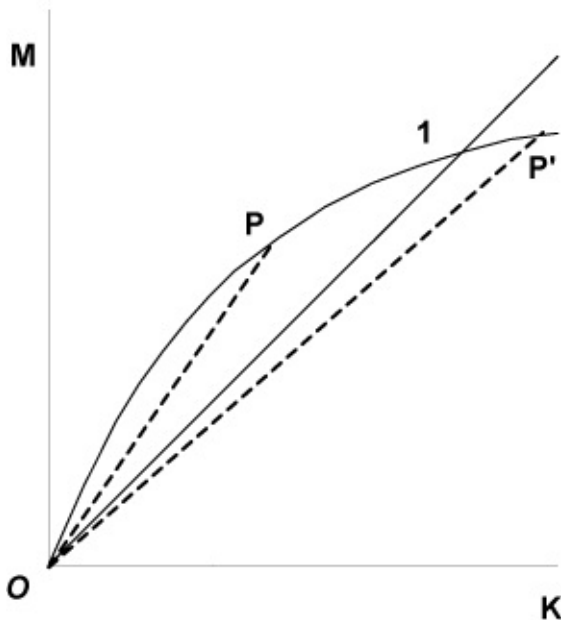


Рис.7

возрастает, во всяком случае, на дуге кривой выше биссектрисы: точка R всегда *правее* точки P , то есть $K_2 > K_1$ (см.рис.6). Более того, из выпуклости кривой следует, что ее хорда OP опускается при движении точки P вправо (этот наглядно очевидный факт можно математически доказать, но достаточно взглянуть на рис.7). Тем самым, убывает наклон прямой OP по отношению к оси абсцисс, измеряемый отношением ординаты точки P к ее абсциссе и называемый угловым коэффициентом прямой OP : он равен тангенсу угла между OP и осью абсцисс и убывает вместе с этим углом). Итак, при возрастании K отношение M/K убывает.

Это отношение называется коэффициентом размножения популяции; оно определяет, во сколько раз число особей в следующем поколении больше, чем в предыдущем (если $M/K > 1$), или меньше (если $M/K < 1$). Напротив, когда K уменьшается, коэффициент размножения возрастает; наибольшее значение он имеет при $K = 0$, то есть (биологически) при исчезающе малой популяции. Математически это наибольшее значение получается предельным переходом [Читатель, которого затруднит эта фраза, может опустить ее без вреда для дальнейшего]: когда K уменьшается до нуля, угловой коэффициент "хорды" OP , равный M/K , стремится к пределу, который называется производной функции $M(K)$ при $K = 0$ и обозначается $M'(0)$; геометрический смысл этого предела – угловой коэффициент касательной к графику в точке O .

Биологический смысл полученного результата состоит в том, что растущая популяция занимает наиболее удобные места для питания и откладывания личинок, от чего размножение замедляется. Часто влияют и другие факторы: выделение продуктов жизнедеятельности, загрязняющее среду, рост инфекционных заболеваний, и т.п. Возможно, конкуренция за места обитания служит именно для избежания этих явлений. Вплоть до точки 1 (то есть при $K < K_s$, где K_s – абсцисса точки 1) отношение M/K остается больше 1 (см.рис.7), то есть $M > K$, и популяция с каждым годом возрастает. Но при $K > K_s$ наклон прямой OP становится меньше 1, то есть $M < K$, и популяция начинает убывать: это можно истолковать как эффект перенаселения.

Особый интерес представляют стационарные состояния, в которых $M(K) = K$. Очевидно, если популяция попала в такое состояние, то она в нем навсегда останется, так как численность ее точно воспроизводится через любое число лет. Но, конечно, этот вывод имеет лишь формальное значение, так как уже небольшое случайное отклонение от состояния равновесия может привести к удалению от этого состояния. Главный интерес представляют устойчивые состояния равновесия – такие, что при любом небольшом отклонении от этого состояния популяция к нему возвращается. В нашем случае, когда фазовая кривая выпукла, она может пересекать биссектрису координатного угла в единственной точке (подумайте, почему?). Мы обозначили эту точку через 1, ее абсциссу через K_s , а ордината ее $M_s = K_s$. Как мы покажем, точка 1 – устойчивая точка равновесия нашей популяции.

Начнем с популяции, изображаемой точкой графика $P_0 (K_0, M_0)$ (рис.8), то есть с начальной численностью популяции K_0 , равной

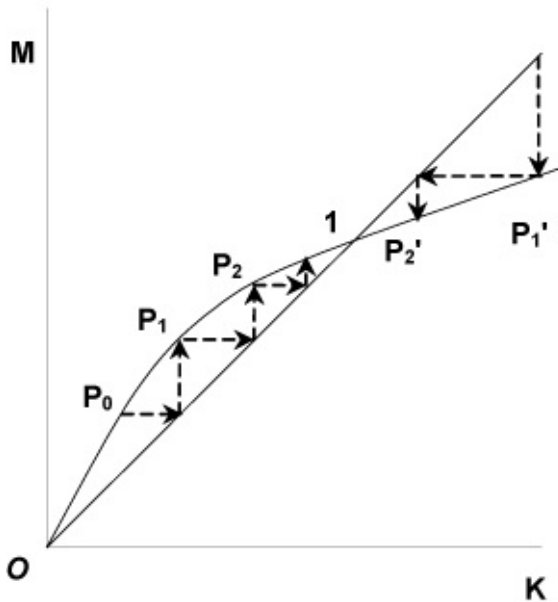


Рис.8

абсциссе точки P_0 , и численностью в следующем году, равной ординате M_0 точки P_0 (чтобы не загромождать чертеж, мы не указываем проекции на оси).

Если $K_0 < K_c$, то есть точка P_0 лежит левее точки 1, то прием отражения в биссектрисе, как это видно из рис.8, переводит P_0 в точку P_1 , изображающую популяцию в следующем году, численность которой равна абсциссе K_1 точки P_1 . Следующее применение того же приема приводит к точке P_2 , абсцисса которой K_2 равна численности популяции еще через год, и так далее. Из рис.8 ясно, что точки $P_0, P_1, P_2, \dots$ подходят сколь угодно близко к точке 1, так что при любой начальной популяции, оказавшейся "левее" точки 1, процесс ее развития подходит сколь угодно близко к состоянию равновесия 1. С другой стороны, если начальное состояние P_0' оказалось "справа" от точки 1, то оно переходит в состояния $P_1', P_2', P_3', \dots$, сходящиеся к точке 1 справа (убедитесь в этом!). Если какие-нибудь случайные факторы заставят точку P несколько отойти от состояния 1 или "перепрыгнуть" через него, то затем она будет снова приближаться к нему, с той или иной стороны. Это и есть то явление, которое называется устойчивым равновесием популяции. Если вначале популяция сколь угодно отличается от равновесной, то (при указанной форме фазовой кривой $M(K)$!) она в конечном счете стабилизируется около равновесного значения. Таким образом, в отсутствие особых отклоняющих условий всегда будет наблюдаться популяция, близкая к K_c .

Рассмотрим теперь следующий, столь же простой случай, когда фазовая кривая $M(K)$ вогнута, и также пересекает биссектрису в единственной точке 1 (рис.9). Как видно из рисунка, любое состояние популяции P_0 , лежащее между точками 0 и 1, перейдет последовательно в состояния $P_1, P_2, \dots$, приближающиеся к точке 0; абсциссы этих точек,

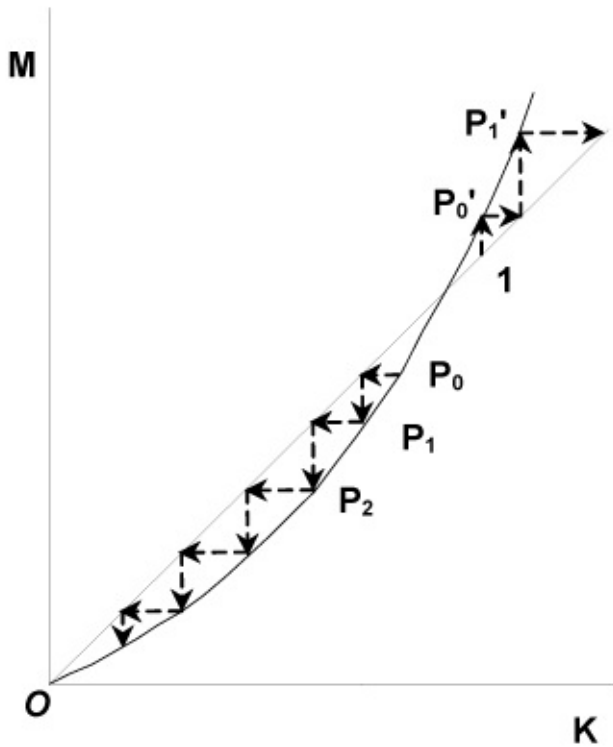


Рис.9

то есть численности популяции в последовательные годы, убывают, приближаясь к нулю: популяция вымирает. Если же начальное состояние популяции P_0' расположено справа от точки 1, то в следующих состояниях $P_1', P_2', \dots$, как видно из чертежа, численность популяции неограниченно возрастает. Ясно, что такого явления в природе не может быть; следовательно, при достаточно больших значениях численности K кривая на рис.9 уже не является реалистическим изображением процесса размножения; она уже не может быть вогнутой. Какой она может быть при бо'льших численностях, мы скоро увидим.

Точка 1 опять является точкой равновесия, но теперь это неустойчивое равновесие: при малейшем отклонении от этого состояния популяция удаляется от него, либо в сторону вымирания (если отклонение было влево), либо в сторону возрастания (если вправо). Ясно, что такое состояние, как 1, не может сохраниться и никогда не наблюдается в

природе. Но точки этого типа важны в качестве "водоразделов", отделяющих области разного поведения популяции.

Если кривая рис.8 часто встречается – а вместе с нею часто встречаются, при неизменных внешних условиях, устойчивые популяции – то кривая рис.9 в целом нереальна; запомним только, что участок вогнутости, лежащий ниже биссектрисы, означает убывание численности популяции до левого конца участка.

Более сложные популяционные процессы

До сих пор мы рассматривали только возрастающие функции $M(K)$, то есть такие, что при увеличении K увеличивается также M ; это значит, что большей популяции в данном году соответствует бо́льшая в следующем. При таком условии мы могли предвидеть только один вид поведения популяции: ее изменение в одну сторону (возрастание или убывание) вплоть до состояния равновесия (которым может быть и точка 0, соответствующая вымиранию рассматриваемого вида). Но для некоторых видов фазовая функция не везде возрастает, что позволяет предсказать и другие способы поведения популяции, тоже наблюдаемые в природе. Предположение, что при больших K популяция начинает убывать, означает, конечно, перенаселение и может быть проверено наблюдением.

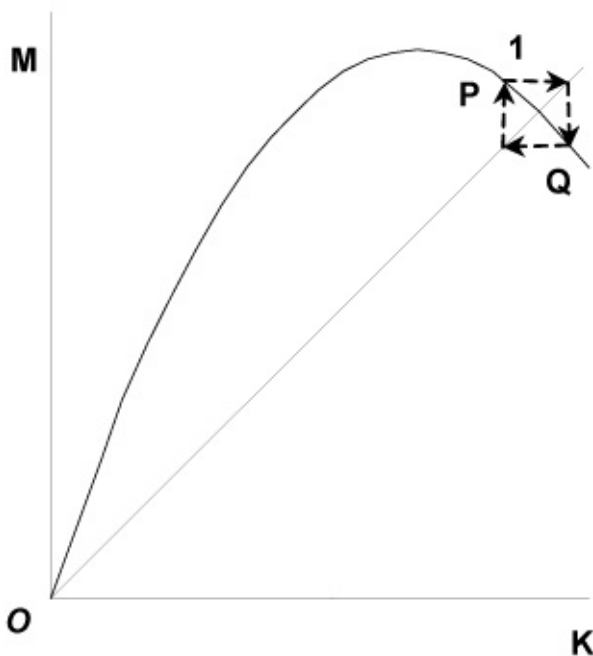


Рис.10

На рис.10 изображена кривая $M(K)$ с резким убыванием после точки равновесия 1. Если популяция случайно окажется в состоянии P или Q , где P и Q – вершины квадрата, рассекаемого пополам биссектрисой, то в следующем году она перейдет в состояние Q , соответственно, P , и так далее, то есть численность ее будет периодически колебаться.

Конечно, на практике "точный" цикл не получается, поскольку начальное состояние не бывает в точности P или Q . Только что описанный циклический процесс представляет идеализацию, наблюдаемую лишь в

некотором приближении. В действительности такой "почти циклический" процесс со временем нарушается. На рис. 11 изображено изменение популяции, сдвинувшейся с циклического процесса "наружу" и развертывающейся по спирали. В дальнейшем значение абсциссы K может довольно широко колебаться вокруг равновесного значения (абсциссы точки 1). Такие процессы называются "квазихаотическими". Так как численность популяции может в таких условиях значительно отклоняться от положения равновесия неограниченное число раз, стационарная точка только что описанного типа считается неустойчивой.

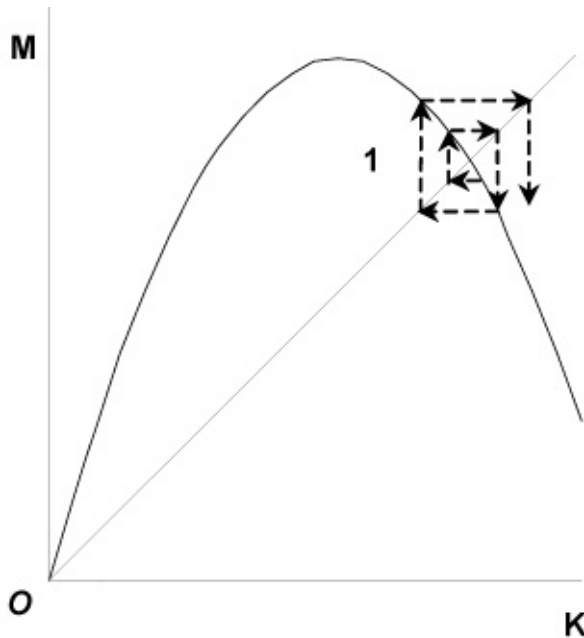


Рис.11

Перейдем теперь к важному, часто встречающемуся в природе случаю, когда фазовая кривая пересекает биссектрису координатного угла в трех точках 1, 2, 3 (не считая начала координат O). Это значит, что есть три стационарных численности популяции, кроме нулевой, соответствующей вымиранию вида. На рис.12 изображен наиболее обычный случай, когда фазовый портрет изображает возрастающую функцию $M(K)$, то есть когда большему исходному значению K соответствует и большее значение M в следующем году.

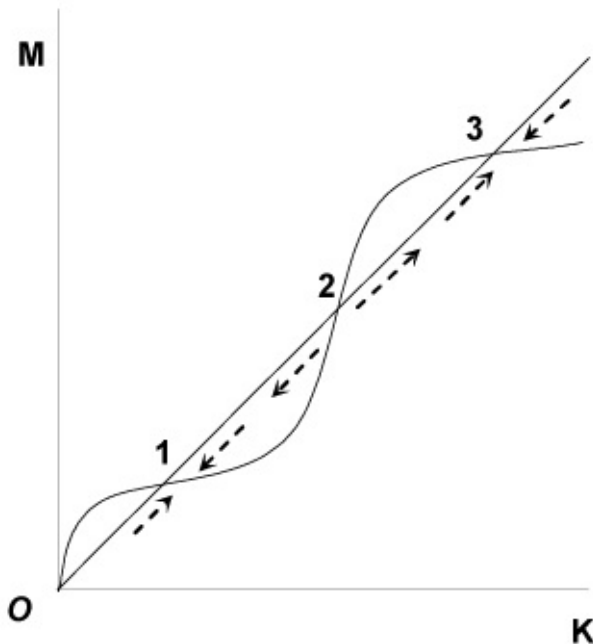


Рис.12

Биологический смысл этой зависимости мы выясним позже, а теперь попробуем формально применить к кривой рис.12 прием отражения в биссектрисе.

Мы можем воспользоваться тем, что уже знаем об участках кривой выше и ниже биссектрисы. Начальные состояния между точками 0 и 1 будут двигаться вправо, приближаясь к точке 1, а начальные состояния между точками 1 и 2 – влево, тоже приближаясь к точке 1. Таким образом, точка 1 будет по-прежнему точкой устойчивого равновесия, но теперь с одной оговоркой: слишком сильное нарушение равновесия в сторону возрастания популяции уже не приведет к возвращению в точку 1, поскольку состояния между точками 2 и 3, тоже принадлежащие дуге над биссектрисой, будут двигаться вправо, как и точки дуги 0-1. Таким образом, точка 2 изображает неустойчивое равновесие, как на рис.9. Напротив, точка 3, как и точка 1, изображает устойчивое равновесие, но с большей численностью популяции, чем точка 1. Здесь опять надо иметь в виду, что устойчивость популяции – понятие "локальное", так что слишком большие отклонения от равновесия уже не восстанавливаются.

Рекомендуем читателю провести геометрические построения, подобные изображенным на рисунках 8, 9, на более сложном рис.12, для участков 0-1, 1-2, 2-3 и правее точки 3.

Участок графика 0-1 можно считать благоприятным для жизни вида, поскольку любая популяция, находящаяся на этом участке, будет расти до

состояния устойчивого равновесия 1, а затем останется в этом состоянии (практически – с небольшими колебаниями около него, от разных случайных причин). Участок 1-2 неблагоприятен, на нем численность популяции убывает, но не до нуля, а до устойчивого равновесия 1. Участок 2-3 опять благоприятен и приводит к устойчивому равновесию 3. За точкой 3 может больше не быть точек пересечения с биссектрисой, и тогда все состояния справа от 3 приближаются к состоянию 3, с уменьшением популяции; или же существуют дальнейшие точки пересечения, которые будут по очереди точками неустойчивого и устойчивого равновесия. В случае насекомых, насколько нам известно, более трех точек равновесия (за исключением нулевой) в природе не встречается.

Естественно, возникает вопрос, от каких биологических причин зависит форма кривой, называемой "фазовым портретом" популяции. В случае насекомых вроде упомянутого выше черного усача эти причины известны. Кривые вида, изображенного на рис.8, соответствуют образу жизни насекомого в молодых лесах, или – в горной местности – в лесах, расположенных на нижней части склонов, близ границы со степью. В таких лесах усач нападает на слабые и больные деревья, забираясь в луб и откладывая там яйца. Сильных деревьев он не трогает, потому что они защищаются, заливая яйца смолой. Равновесие 1 рисунка 8 означает устойчивую популяцию насекомых в лесу с постоянной долей ослабленных деревьев, служащих им пищей и местом размножения.

Выше, на склонах гор, условия в лесу меняются – там прохладнее и больше влаги. В таких более благоприятных условиях данному значению исходной популяции K соответствует большее значение M , так что фазовый портрет популяции 8 поднимается и в ряде случаев принимает форму, изображенную на рис.12. Участок 2-3 соответствует существующему в этих условиях другому режиму питания, когда при возросшей плотности населения усачам уже не хватает ослабленных деревьев, и они начинают нападать на здоровые, защитные средства которых теперь оказываются недостаточными. В отличие от описанного выше способа питания, при котором возможно экологическое равновесие между лесом и насекомыми и который может неограниченно долго существовать в нижней зоне горного леса, граничащей со степью, этот новый режим питания угрожает уже самому существованию леса. Но для того, чтобы участок 2-3 в самом деле "использовался" насекомыми, их численность должна достигнуть некоторого уровня – абсциссы точки 2. Так как на участке 1-2 рост популяции невозможен, это в "нормальных" условиях и не происходит, и, следовательно, популяция остается вблизи точки устойчивого равновесия 1.

"Ненормальные" условия возникают, когда популяция высокой плотности заносится извне, что вполне возможно, поскольку насекомые летают; об этом еще будет речь дальше. Тогда численность популяции возрастает не за счет прежнего населения, не способного перейти неблагоприятный участок 1-2, то есть не за счет размножения "местных" насекомых, а за счет появления "чужих". Как только число насекомых превышает абсциссу точки 2, начинает "работать" участок фазового портрета 2-3, и численность популяции возрастает до точки нового устойчивого равновесия 3: это и есть вспышка массового размножения. В случае усаха число насекомых в состоянии 3 может быть примерно в десять раз больше, чем в "нормальном" состоянии 1, но для других насекомых оно может возрасти в десятки тысяч раз, так что участок 2-3 становится гораздо длиннее, чем это можно изобразить на бумаге.

Наконец, близ вершин (если горы не слишком высоки) для леса существуют особенно благоприятные условия. В спелом лесу, если он вырос в этих местах (так называется лес, где деревья больше не растут), фазовая кривая (рис.13) имеет другой вид, чем на рис.12: она получается из предыдущей подъемом вверх, смысл которого, как и прежде, нетрудно понять: при одном и том же значении численности исходной популяции K в спелом лесу окажется через год большее число насекомых M , чем в менее благоприятных условиях, соответствующих рисунку 12. При подъеме графика точки пересечения с биссектрисой 1 и 2 исчезают, и остается только точка 3.

При такой фазовой кривой насекомые будут размножаться безостановочно до точки 3, и популяционная вспышка становится неизбежной. Как только популяция оказывается достаточно плотной, насекомые начинают нападать на спелый лес, и этот режим питания сохраняется,

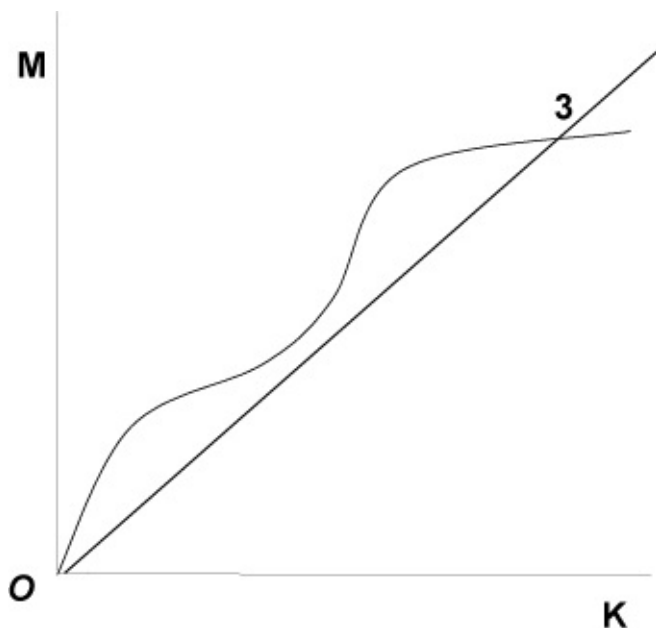


Рис.13

пока весь спелый лес не погибнет. Тогда плотная популяция насекомых начинает спускаться по склону горы, "приводя в действие" не работавший до того участок 2-3 свойственной этой области кривой рисунка 12. Теперь в лесу, растущем на склоне, начинается вспышка размножения, истребляющая этот лес и скатывающаяся, как волна, сверху вниз. Наконец, вспышка достигает нижней зоны леса, которой свойственна фазовая кривая рис.8. Здесь не может существовать слишком многочисленная популяция, так как справа от точки 1 она может только уменьшаться; излишнее число залетевших насекомых вымирает, и вспышка прекращается.

Так как насекомые не трогают молодых деревьев, то после угасания вспышки лес обычно восстанавливается, начиная расти с возраста, привлекающего насекомых. Поэтому со временем на вершинах гор и на склонах вырастает спелый лес, примерно однородный по возрасту, после чего снова начинается вспышка. Периодическое повторение вспышек действует аналогично лесным пожарам, также опустошающим сразу весь лес, но после пожара лес может вовсе не восстановиться, что после вспышки случается реже. В таких случаях горы покрываются травой или лесом другого типа. Вследствие периодических экологических катастроф, в верхней зоне гор не наблюдается "переспелый" лес с участками деревьев разного возраста: на аэрокосмических снимках чаще всего можно увидеть вершины сопок, покрытые молодым лесом.

Вмешательство человека может изменить вид фазовой кривой, обычно в неблагоприятную сторону. Так, "подъем" кривой, изображенный на

рис.13, в природе происходит при особенно благоприятных для насекомых условиях, когда они могут перейти к питанию сильными деревьями; но к такому же подъему кривой может привести ослабление леса вследствие вырубki или промышленного отравления воздуха, облегчающее насекомым использование леса. Так человек провоцирует вспышки массового размножения.

С другой стороны, человек может также уменьшить вероятность вспышек или вовсе прекратить их, прибегнув к химическому или биологическому уничтожению насекомых-вредителей; при этом фазовая кривая может опуститься, как это изображено на рис.14, и опять принять форму рис.8.

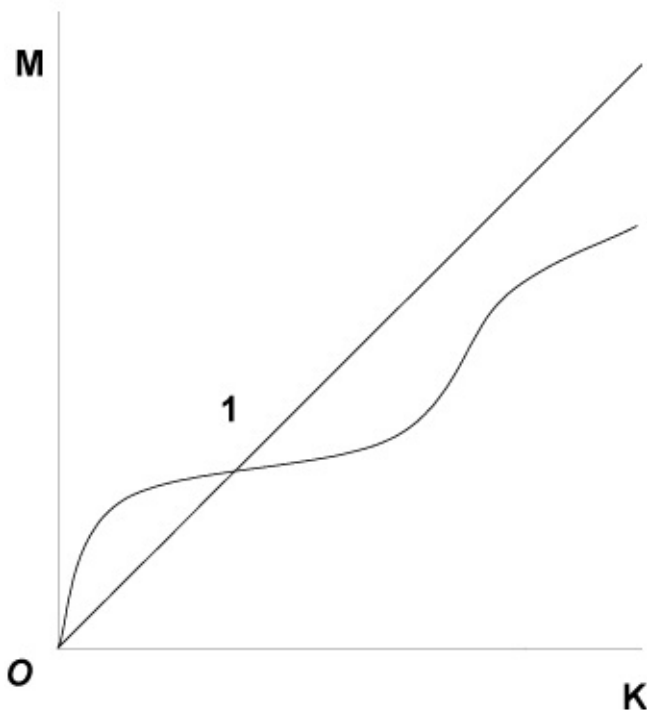


Рис.14

До сих пор мы рассматривали популяционные вспышки на примере насекомых – вредителей леса. Но выясненные при этом закономерности носят весьма общий характер. Приведем несколько других примеров, показывающих, что вспышки массового размножения могут иметь важное значение для человека.

Самым известным примером являются вспышки размножения саранчи. С точки зрения зоологической классификации саранча – это попросту один из видов кузнечика, обитающий в засушливых степях, в особенности в степях восточной Азии. В "нормальных" условиях эти кузнечики не являются "общественными" насекомыми и живут, как наши;

но если по каким-нибудь (еще не вполне выясненным) причинам плотность их популяции слишком возрастает, то у них вырастают крылья (редуцированные в обычном состоянии), они обретают способность летать, собираются в огромные стаи, становятся тем, что называют саранчой, и перелетают в другие страны, уничтожая там растительность и перемещаясь по мере поедания корма, точно так же, как это делают вредители леса.

Другой пример – исчезновение лесов в древней Греции. Эта горная страна в исторические времена всегда была безлесной, с оголенными скалистыми хребтами. Но в доисторическую эпоху греческие горы были покрыты лесом, о чем сохранились воспоминания в традиции греков, и что подтверждается палеонтологическими исследованиями. Вряд ли эти леса были вырублены редким населением. Существует предположение, что их уничтожили козы, домашние животные, вследствие вспышки массового размножения. Поскольку козы съедали молодые побеги деревьев, лес не восстановился, и дожди смыли с гор не защищенную лесом почву. Таким образом, "классический греческий пейзаж", который мы теперь знаем, является результатом спровоцированной человеком экологической катастрофы. Возможно, таким же образом возникли некоторые пустыни, вследствие чрезмерного выпаса крупного рогатого скота, лошадей и овец – например, пустыня Сахара.

Случайно завезенные в Австралию кролики не нашли в этой стране достаточно сильных естественных врагов; местные сумчатые хищники, к тому времени уже редкие, не могли контролировать их численность, и произошедшая популяционная вспышка поставила под угрозу все сельское хозяйство. Дело дошло до того, что построили изгородь от кроликов через весь континент.

Вероятно, что и наш вид пережил вспышку массового размножения, когда люди освоили охоту на мамонтов и перешли тем самым на новый режим питания. Когда мамонты были истреблены, численность людей, по-видимому, резко сократилась. Возможно, еще одна вспышка размножения человека произошла в двадцатом веке.

Пример экологического просчета

Этот поучительный пример связан с размножением лосося. Лосось во взрослом состоянии живет в открытом море, а нерестится в реках нашего Дальнего Востока и Америки, причем каждая рыба через семь лет возвращается для нереста в место своего рождения, в устье той же реки; во время перед нерестом там собирается много рыбы. В пограничной зоне шириной в 12 миль, запрещенной для иностранцев, ее отлавливали только наши рыбаки, а на подходах к этой зоне – также японские рыбаки. Чтобы помешать им это делать, советские ихтиологи предложили правительству расширить запретную зону до 24 миль; предполагалось, что от этого улов лосося значительно увеличится. Но в действительности он заметно уменьшился, а возрос лишь позже, после нескольких семилетий. Чтобы понять, что произошло, мы изложим соображения ихтиологов (пользовавшихся другим описанием) на нашей модели (рис.15), где численности популяции K , M относятся к последовательным семилетиями и потому разнесены по времени на семь лет (все равно, считать ли мальков или рыб, пришедших на нерест).

Лосось – один из видов, численность которых резко убывает при перенаселении, то есть фазовый портрет его популяции загибается резко вниз. На рис.15 жирная кривая изображает фазовый портрет до расширения запретной зоны, а кривая над ней – предполагаемый фазовый портрет после расширения. До этого популяция находилась в устойчивом равновесии 1, а после, как предполагалось, должна была перейти в точку нового равновесия 2, с бо'льшим значением населения.

Но в действительности резко уменьшился промысел не всех особей, а только особей, идущих на нерест (потому что принятые меры не коснулись промысла в открытом море и в реках); вследствие этого резко возросло число особей, успешно пришедших на нерест. Если мы хотим описать вновь возникшую популяцию на языке фазовых портретов, то надо прежде всего понять, каково будет новое исходное значение численности, когда мы начнем пользоваться новым фазовым

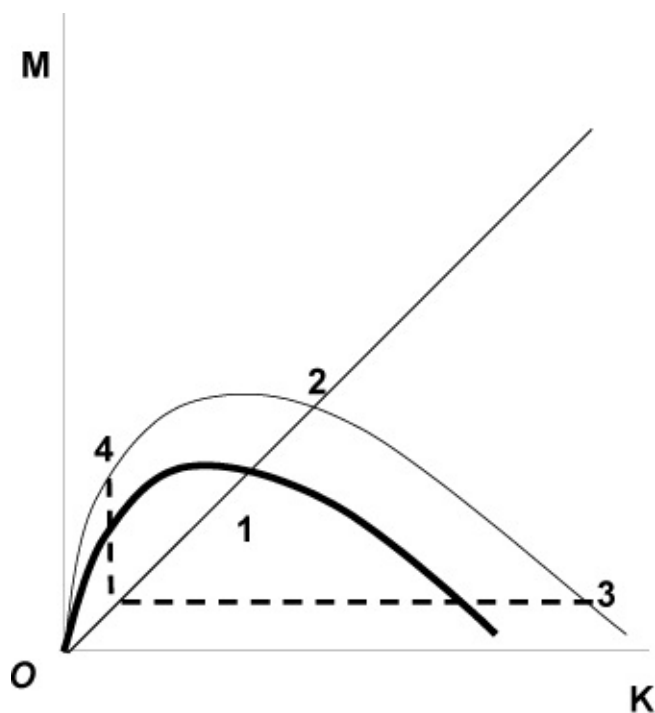


Рис.15

портретом. Можно предположить, что на нерестилищах была достигнута избыточная плотность, при которой начинает наблюдаться обратная зависимость количества потомства от количества нерестящихся рыб – это значит, что рыбы мешают друг другу нереститься, причем так сильно, что это не компенсируется большим числом нерестящихся рыб.

В итоге первый цикл репродукции после расширения запретной зоны изображается точкой нового фазового графика 3, где число K значительно больше прежнего устойчивого числа рыб, приходивших на нерест (абсцисса точки 1), но через семь лет получится число M , меньшее прежнего. После нескольких дальнейших семилетних циклов, первый из которых изображается точкой новой фазовой кривой 4, популяция должна установиться на уровне точки 2, то есть станет больше, чем в прежней точке 1, что и произошло в действительности.

Классификация популяционных вспышек

Если понимать под вспышками массового размножения любые случаи, когда численность вида может резко колебаться, то характерные фазовые портреты позволяют построить классификацию различных типов вспышек. Мы ограничимся здесь только случаями, когда график функции $M(K)$, выходя из начала координат, затем пересекает биссектрису еще в трех точках: точка 1 соответствует самой низкой ненулевой стационарной численности, точка 2 – промежуточной стационарной численности и точка 3 – самой высокой стационарной численности. В принципе каждая из них в отдельности может быть как устойчивой, так и неустойчивой, но при этом возможны лишь некоторые сочетания типов устойчивости. Больше трех стационарных состояний у насекомых не бывает, что оправдывает сделанное предположение.

Прежде всего, мы покажем, что стационарная точка 2, хотя и может оказаться устойчивой относительно небольших отклонений, в течение длительного времени чаще всего не сохраняется, так что у длительно существующих видов этот случай встречается редко. В самом деле, представим себе, что эта точка устойчива, как показано на рисунке 16.

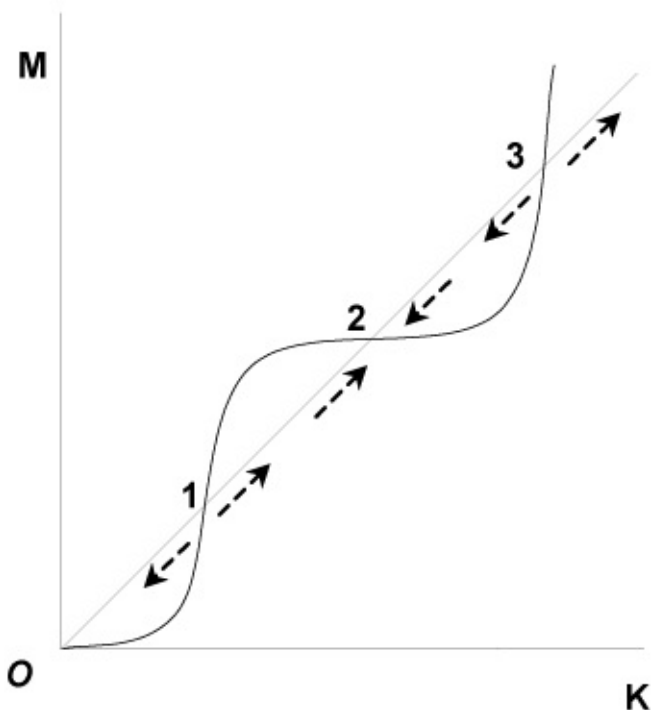


Рис.16

Как видно из рисунка, в этом случае непременно оказывается устойчивой и стационарной точкой нулевой численности. Конечно, если популяция все время описывается таким фазовым портретом, то она попадет в окрестность точки 2 и никогда не сможет перейти в обратном направлении "благоприятную" зону 1-2. Но в течение длительного времени могут произойти события, нарушающие "нормальное" поведение популяции – резкое ее сокращение по какой-нибудь случайной причине; вспомним, как вследствие заноса летающих насекомых происходит резкое возрастание плотности популяции в данной местности, переводящее ее в ранее недоступную область фазовой кривой 2-3 (рис.12). Точно так же, какое-нибудь "бедствие" может перевести популяцию рисунка 16 в область 0-1, после чего она непременно двинется к точке 0, то есть вымрет. Поэтому виды с динамикой, изображенной на рис.16, встречаются относительно редко, и в разрабатываемой здесь грубой классификации их можно не учитывать. (Для сравнения вспомните популяции с фазовым портретом вида рис.8, которые даже при большом отклонении *всегда* возвращаются в положение равновесия 1!).

Обычно у гибнущих видов популяция становится слишком редкой, как это происходит, вероятно, с китами, вследствие их неумеренного промысла и загрязнения воды в океанах. Заметим, впрочем, что есть виды, у которых разрежение популяции предотвращается так называемым "эффектом Олли"; а именно, эти виды образуют территориально разделенные популяции с относительно плотным населением в каждой, что позволяет им оставаться в этих местах на участке 1-2, не спускаясь ниже критической точки 1. Эффект Олли заслуживает упоминания, поскольку он составляет корректив к общему закону Лоренца, по которому вид, под действием инстинкта внутривидовой агрессии, стремится равномерно расселиться по своему ареалу. Отметим еще, что правее точки 3 кривая рисунка 16 неизбежно должна загигаться книзу, ввиду ограниченности ресурсов и, следовательно, невозможности неограниченного роста популяции. Однако, у насекомых четвертая стационарная точка до сих пор не обнаружена.

По только что указанной причине мы можем ограничиться случаями, когда точка 2 неустойчива. Тогда возможны следующие варианты, которые читателю рекомендуется самостоятельно рассмотреть, применяя прием отражения в биссектрисе. Эти примеры послужат проверкой усвоения методов настоящей главы.

Случай, когда точка 1 и точка 3 устойчивы (рис.17):

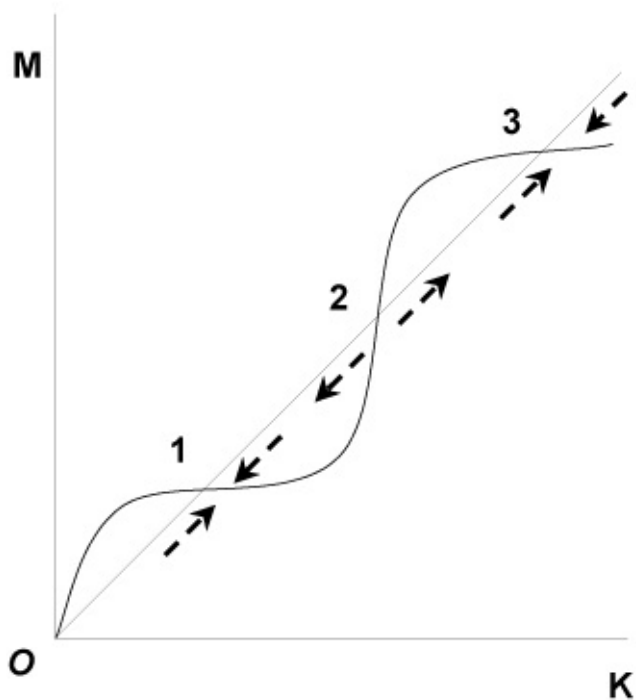


Рис.17

Случай, когда точка 1 устойчива, а точка 3 неустойчива (рис.18 – здесь надо вспомнить, почему такая точка считается неустойчивой, см. пояснения к рис.11!):

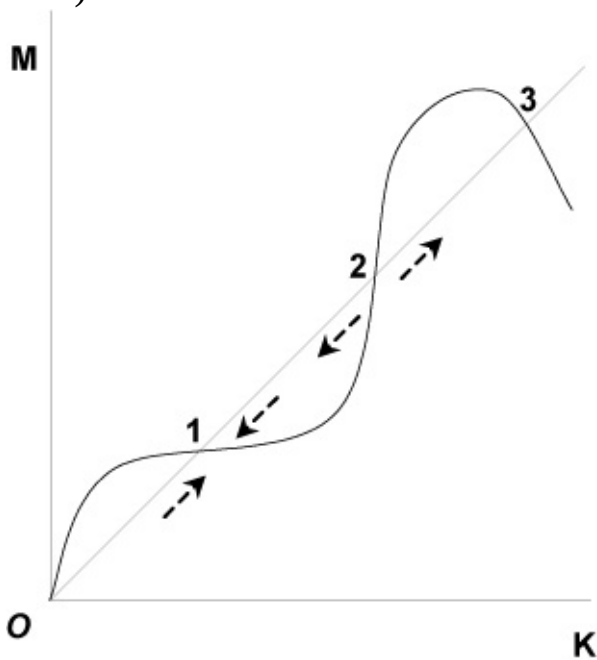


Рис.18

Случай, когда точка 1 неустойчива, а точка 3 устойчива (рис.19):

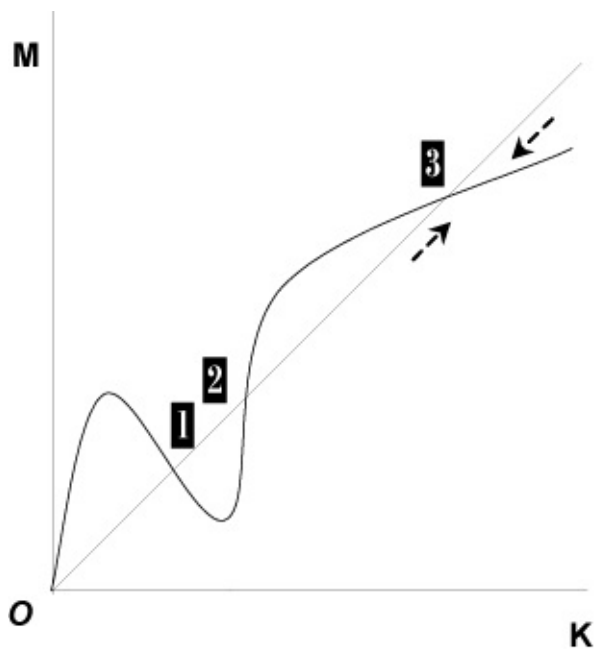


Рис.19

Случай, когда точка 1 и точка 3 неустойчивы (рис.20):

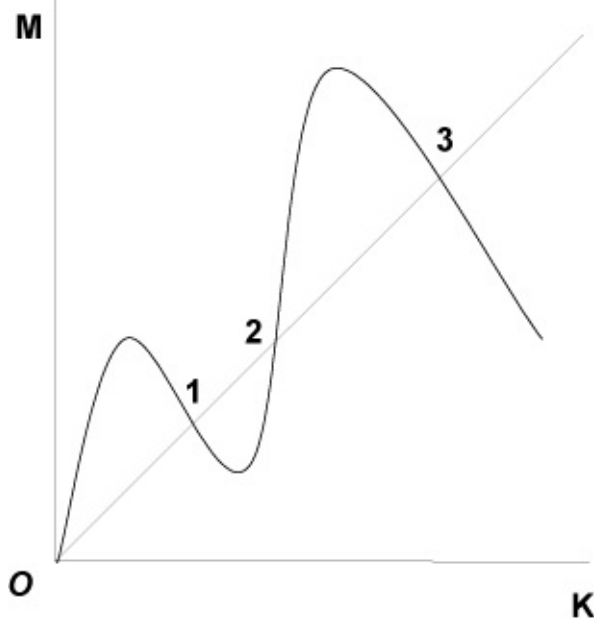


Рис.20

На рисунках 18, 19 и 20 изображены такие ситуации, когда, начиная движение из неустойчивой точки 3 или 1, можно перейти через значение численности, соответствующей точке 2 – в таких случаях можно говорить о большой амплитуде колебаний численности и о возможности всплеск массового размножения.

Заметим еще, что в природе встречаются примеры приспособления,

избегающего режима вспышек. Например, вредители хвойных лесов в Швейцарских Альпах съедают только нижнюю половину каждой хвоинки и не трогают верхнюю, более жесткую половину. При этом дерево выживает и способно отрастить новую хвою, так что не бывает вспышек, уничтожающих лес. Несколько таких видов насекомых обнаружено и в России. Такой режим питания выгоден не только лесу, но и паразитирующему на нем виду, поскольку этот вид сохраняет нужный ему ресурс. Мы еще встретимся с возобновляемыми и невозобновляемыми ресурсами при рассмотрении хозяйственной деятельности человека.

Классификация популяционных процессов

В общем случае популяционные процессы не допускают столь простого исследования, как в этой главе: смена поколений происходит не ежегодно, как в случае насекомых, и не через правильные промежутки времени, как в случае лососей и некоторых других рыб. В более сложных случаях поколения налегают друг на друга и существуют одновременно. Условия, в которых применимы изложенные выше методы, состоят в следующем:

1. Размножение животных данного вида происходит одновременно у всех особей, через вполне определенные периоды времени.

2. После промежутка размножения, малого по сравнению с периодом между такими промежутками, прежнее поколение умирает до начала следующего промежутка размножения.

При этих условиях, как мы видели, можно дать полную классификацию всех возможных популяционных процессов.

Ограничиваясь случаями, когда фазовая кривая пересекает биссектрису координатного угла не более чем в трех точках (не считая нулевой точки, когда популяция отсутствует), мы имеем следующие возможности:

(1) Существует единственная устойчивая стационарная точка популяции, как на рис.8.

(2) Существует единственная неустойчивая стационарная точка, как на рис.10 (или рис.11), с квазихаотическим процессом вокруг нее.

(3) Существуют две устойчивых стационарных точки и одна неустойчивая "точка убегания", как на рис.12 (или рис.17).

(4) Существуют одна устойчивая стационарная точка, одна неустойчивая точка с квазихаотическим процессом и одна неустойчивая "точка убегания", как на рис.18, причем численность популяции в первой меньше, чем во второй.

(5) Существуют одна устойчивая стационарная точка, одна неустойчивая точка с квазихаотическим процессом и одна неустойчивая "точка убегания", как на рис.19, причем численность популяции в первой больше, чем во второй.

(6) Существуют две неустойчивых стационарных точки с квазихаотическим процессом и одна неустойчивая "точка убегания", как на рис.20.

Читатель легко может убедиться, что фазовые кривые с двумя стационарными точками не представляют реальных ситуаций, так как справа от неустойчивой точки происходило бы неограниченное возрастание популяции; то же относится к любому четному числу стационарных точек. С другой стороны, нет теоретических причин, почему бы не могло быть любое нечетное число таких точек. В известных популяциях их оказывается не более трех, и вероятно, что предыдущая классификация для биологических применений является исчерпывающей.

Глава 2. Экологический ущерб

Экологическое положение человека

Хозяйственная деятельность человека производит различные виды экологического ущерба. В некоторых случаях этот ущерб не допускает количественной оценки: это происходит при уничтожении уникальных объектов природы, часто вызывающем протесты и общественные движения.

Особенно беспокоит публику истребление редких и реликтовых видов, даже если эти виды не имеют для людей экономического значения. Точно так же может вызвать возмущение гибель рек, озер и морей от промышленного загрязнения, и в некоторых случаях такое возмущение приводит к положительным результатам: в шестидесятые годы Великие американские озера оказались под угрозой биологической смерти, а сейчас, вследствие строгих законодательных мер, в них уже можно купаться, хотя еще не восстановились ценные виды рыб.

Самые тяжелые последствия вызывает разрушение природы в тоталитарных государствах вроде бывшего Советского Союза или нынешнего Китая, где это происходит от принудительных мер государственной власти, и где всякая попытка общественного протеста подавляется полицейскими репрессиями. Хорошо известна история загрязнения Байкала отходами построенных там предприятий – история и до сих пор продолжающаяся, несмотря на все протесты – или история гибели Аральского моря.

Менее заметно постепенное загрязнение воздуха, воды и почв выбросами промышленных предприятий и транспорта, происходящее непрерывно или периодически в условиях нашей повседневной жизни и вызывающее общественные реакции очень поздно, когда такое загрязнение успевает уже нанести серьезный ущерб. Борьба с промышленными загрязнениями такого "повседневного" типа также отнюдь не безнадежна. Это иллюстрируется, например, значительным улучшением воздуха в американских городах после того, как была введена обязательная фильтрация автомобильных выхлопов.

В условиях рыночного хозяйства (о котором мы расскажем дальше, в главах 5 – 8) люди постепенно забыли мудрость своих предков, предостерегавшую от разрушения окружающей человека природной среды. Уже в доисторические времена у охотничьих племен были строгие запреты убивать определенные виды животных, нередко приуроченные к

определенным временам года. Такие запреты (табу) мотивировались религиозным культом, но в ряде случаев несомненно служили сохранению этих видов. Многие племена добывали себе пищу, не угрожая основной популяции животных: в Северной Америке индейцы жили охотой на бизонов, но миллионные стада их истребили белые, не имевшие в этом серьезной экономической надобности. Впоследствии, когда люди перешли к сельскому хозяйству, они выработали образ жизни, позволявший им в течение столетий пользоваться плодородием земли, возвращая ей взятые у нее вещества и не нарушая сложившиеся сообщества животных и растений – природные биоценозы. Конрад Лоренц, величайший биолог нашего времени, подчеркивал традиционную мудрость крестьянина, сопоставляя ее с безответственностью современного индустриального общества.

В наше время очевидное разрушение природы вызвало сопротивление более разумной части населения, но бо'льшая часть его ориентирована лишь на краткосрочные выгоды, о чем еще будет речь в главе 10. В этих условиях даже обеспечение необходимых жизненных условий населения требует принудительных мер для обуздания значительной части предпринимателей, не стесняющихся выбрасывать отходы своего производства на головы людей. Как показывает опыт, единственным эффективным методом защиты от экологического ущерба является экономический нажим: наложение штрафов.

Само собой разумеется, этот метод действует лишь в тех случаях, когда в обществе существует законный порядок. В противном случае штрафы будут существовать только на бумаге, или превратятся в предлог для вымогательства. Но без законного порядка не могут быть решены и никакие другие проблемы общественной жизни, как это слишком хорошо знают у нас в России. Во всяком случае, надо, чтобы люди знали об угрожающих им опасностях и о возможности контроля над окружающей средой.

Динамика экологического ущерба

Мы начнем с описания динамики экологического ущерба, который будем для простоты называть "загрязнением", хотя экологический ущерб может проявиться и в виде вырубки лесов, заболачивания местности или беспорядочной застройки жилых районов: все это мы рассматриваем как частные случаи загрязнения среды. Предприятия, загрязняющие окружающую местность, могут выбрасывать свои отходы непрерывно, или только время от времени, причем состав отходов может быть сложным. Будем следить за одной определенной компонентой выбросов, измеряя ее в некоторых условных единицах – например, в процентах концентрации выбрасываемого вещества в воздухе, воде или почве. Если режим работы предприятия задан, то концентрация загрязнения зависит еще от условий загрязняемой среды, которая до известной степени способна разлагать или удалять рассматриваемое вещество. Разумеется, при этом оно может уходить в другую среду, например, из воздуха в почву или наоборот; но мы будем следить только за концентрацией загрязнения в определенной фиксированной среде. Как и в других случаях сложных систем, закономерности изменения концентрации не могут быть выражены формулами, но метод фазовых портретов позволяет описывать происходящие явления и предсказывать их дальнейшее развитие.

Концентрация загрязнения среды, меняющаяся со временем, аналогична численности популяции насекомых, рассмотренной в главе 1, с тем отличием, что концентрация в последующие моменты времени зависит не только от концентрации в предыдущие моменты, но еще от выбросов загрязняющего предприятия. Если продолжить аналогию с насекомыми, то надо допустить не только "развитие" их "туземной" популяции, живущей на данной территории, но также непрерывный или периодический завоз насекомых извне.

Отвлечемся сначала от загрязняющего предприятия и займемся свойствами загрязняемой среды. Фиксируем пункт местности, где изучается загрязнение, и тем самым свойства среды в этом месте и расстояние от загрязняющего предприятия. Вся излагаемая дальше динамика загрязнения относится к выбранному пункту. Будем считать, что рассматривается вполне определенный загрязнитель, попавший (все равно, каким образом) во вполне определенную среду. Чтобы установить временно'е изменение загрязнения, можно воспользоваться уже известным

нам методом фазовых портретов. В отличие от специальных условий главы 1, где был естественный период развития популяции в один год, после которого происходит смена поколений, ситуация с выбросами и разрушением загрязнителя может быть самой разнообразной. Поэтому последовательные наблюдения концентрации можно производить через равные промежутки времени, продолжительность которых будет зависеть от скорости процессов загрязнения и разрушения загрязнителя. Для простоты мы будем условно называть такой произвольно выбранный промежуток времени "годом". Но в действительности продолжительность этого периода выбирается в зависимости от рассматриваемой задачи.

По аналогии с методом фазовых портретов главы 1, произведем в текущем году, например, 1 января, измерение концентрации загрязнителя в среде и обозначим полученную величину через K ; повторим измерение через год и обозначим полученную величину через M . Предположим, что в течение года наблюдения никакие добавочные загрязнения в среду не вносятся. Тогда можно назвать пару чисел (K, M) "стандартным наблюдением" разрушения (или, на ученом языке, "деструкции") данного загрязнителя в данной среде. Производя ряд таких наблюдений, можно получить фазовый портрет деструкции и построить "облако" соответствующих точек на плоскости с координатами (K, M) . Есть основания полагать, что величина M зависит преимущественно от K , хотя, разумеется, на процесс деструкции в течение года могут влиять и различные случайные обстоятельства – погода, перемещение почвенных вод и т.д. Пренебрегая этими отклонениями, будем считать, что M есть вполне определенная функция от K : $M = f(K)$, и назовем ее функцией деструкции.

Как обычно в исследовании сложных систем, мы не можем описать эту функцию формулой, а находим ее с помощью многократных измерений указанного типа, которые мы назвали стандартными наблюдениями. Имея график такой функции, можно решить ряд вопросов, возникающих при промышленном загрязнении среды. В отличие от главы 1, в рассматриваемом теперь случае всегда $M < K$, то есть концентрация загрязнителя может только уменьшаться: среда перерабатывает его с помощью каких-либо механизмов в другие вещества, не вызывающие у нас опасений, или выводит его в другие среды – например, из почвы в воздух, или наоборот. Мы считаем, что загрязнитель, попавший в среду, сам по себе не размножается, как это может быть в случае бактериальных загрязнений; нас интересуют только "мертвые" загрязнения.

Подчеркнем, что мы сосредоточиваем здесь внимание только на одной

рассматриваемой среде и одном загрязняющем веществе, не принимая во внимание возможной вредности этого вещества после перемещения его в другую среду. Для другой среды будет и другая функция деструкции.

Имеющиеся экспериментальные данные позволяют сделать некоторые общие предположения о функциях деструкции. Мы предположим, что деструкция загрязнителя осуществляется двумя типами разрушителей – живыми и мертвыми. Упрощенная картина их действия изображена на рисунке 1. Так как количество загрязнения в наших предположениях может только убывать, то имеем $M < K$; таким образом, весь фазовый график лежит ниже биссектрисы координатного угла. (В аналогии с насекомыми это означало бы, что их популяция, без завоза со стороны, вымирает).

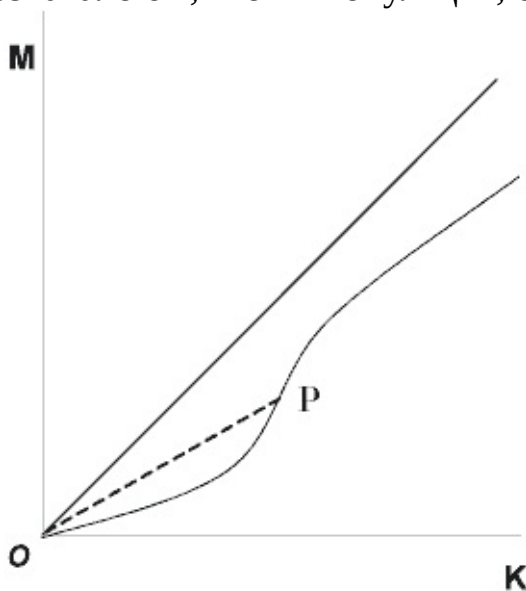


Рис.1

При $K = 0$, то есть при отсутствии начального загрязнения, его не будет и в конце наблюдения, и будет $M = 0$; поэтому $M(0) = 0$. При небольших значениях K можно предположить, что оба фактора деструкции действуют совместно линейным образом: это значит, что за год они уменьшают концентрацию загрязнителя в постоянное число раз: $M = c_1 K$, где $c_1 < 1$. На рисунке 1 этому соответствует прямолинейный участок фазовой кривой, где отношение M/K постоянно и меньше единицы, так что этот участок образует с осью K угол, меньший 45° . При бо'льших концентрациях K живой разрушитель вымирает, подавленный химическим изменением среды; при этом мертвый разрушитель действует по-прежнему линейно, но теперь разрушается меньшая доля загрязнителя. Иначе говоря, при дальнейшем возрастании K отношение M/K растет. Геометрически это означает, что для точки фазовой кривой P с координатами (K, M) хорда OP

образует все больший угол с осью К (рис.1). Наконец, весь живой разрушитель перестает действовать и остается только мертвый, действующий линейно, но менее интенсивно, чем вместе с живым: $M = c_2 K$, где $0 < c_1 < c_2 < 1$. На рисунке 1 это изображается прямолинейным участком справа, причем на этом участке отношение M/K постоянно и, значит, эта прямая тоже проходит (при продолжении) через начало координат.

В менее распространенном случае при увеличении концентрации загрязнителя среда "включает" некоторые добавочные механизмы его деструкции, так что начиная с определенного уровня загрязнения отношение M/K убывает: это значит, что среда разрушает бо'льшую долю загрязняющего вещества, чем при малых концентрациях. На графике наклон прямой ОР при этом уменьшается, и кривая несколько "провисает" книзу, как это видно на рисунке 2. Но при дальнейшем увеличении концентрации отношение M/K опять начинает расти, и дальше все происходит, как на предыдущем рисунке.

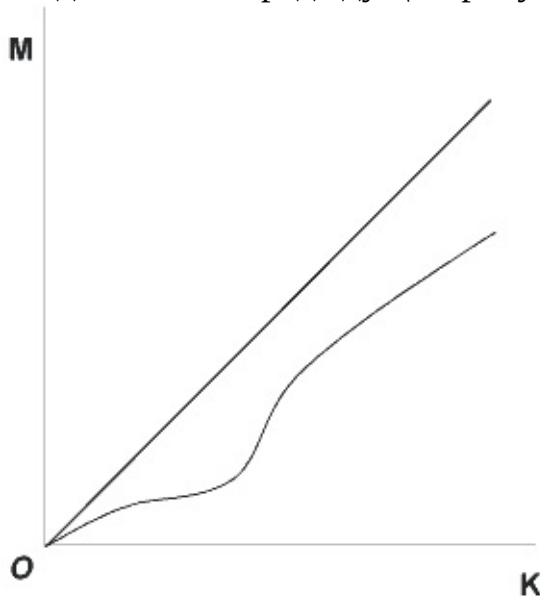


Рис.2

При рассмотрении рисунка 1 (или 2) бросается в глаза, что отношение M/K все время заметно меньше 1, то есть в течение периода между наблюдениями, который мы условно назвали "годом", происходит значительное изменение концентрации. Следуя терминологии физиков, время, в течение которого величина меняется достаточно сильно, но не слишком сильно, то есть, в нашем случае,

$$a < M/K < b$$

где a и b имеют порядок единицы [То есть отношение a/b больше 0,1,

но меньше 10], называется "характерным временем" изменения этой величины. На рисунке 1 характерное время изменения концентрации имеет порядок одного "года". Если бы мы выбрали период между наблюдениями много меньше характерного времени, то за такой период деструкция оказалась бы незначительной, то есть M/K было бы близко к 1, и фазовый портрет практически совпал бы с биссектрисой координатного угла. Такой график был бы непригоден для выяснения практически важных вопросов об изменении концентрации. Точно так же, если выбрать период между наблюдениями намного больше характерного времени, то M/K будет почти равно нулю, и фазовый портрет практически совпадет с осью K , то есть опять-таки будет бесполезен. Поэтому для предсказания процессов загрязнения следует брать в качестве периода время, сравнимое с характерным временем деструкции загрязнителя. В одних случаях этот период может составить десятки лет, в других – несколько дней. Таким образом, период, по которому составляется фазовый портрет концентрации, от случая к случаю меняется, в зависимости от процесса выбросов и процесса деструкции. Мы будем условно называть этот период "годом", но следует иметь в виду, что, в отличие от биологически обусловленного периода размножения, рассмотренного в главе 1, при исследовании загрязнения среды "год" может иметь различное значение.

Фазовый портрет деструкции загрязнения – важная характеристика среды по отношению к рассматриваемому веществу, к сожалению, до сих пор почти не изученная. Покажем, как можно пользоваться ею для предсказания последствий промышленного загрязнения.

Начнем с однократного выброса загрязнителя, когда после выброса дальнейшее загрязнение не происходит, и к которому, по определению, относятся фазовые портреты рисунков 1, 2. Такое загрязнение не характерно для постоянно действующих предприятий, а скорее описывает катастрофу, вроде хиросимской атомной бомбы или чернобыльского взрыва. Именно в этих печальных случаях были проведены подробные исследования концентрации в различных средах, позволяющие составить фазовые портреты деструкции для некоторых веществ, особенно радиоактивных. Катастрофы доставили материал для научных экспериментов – вопреки нравственному закону, запрещающему ставить эксперименты на людях!

Если концентрация в среде сразу же после выброса равна c_0 , то, поскольку других выбросов нет, можно найти по фазовой кривой концентрацию через год после выброса, затем через два года, и т.д. Пользуясь приемом отражения в биссектрисе, разработанным в главе 1,

легко убедиться, что со временем концентрация загрязнителя стремится к нулю, какова бы ни была масса выброса (читатель выполнит на рисунке 1 или 2 построение ступенчатых фигур, как это уже делалось раньше). Конечно, остается вопрос о времени очищения среды, но его можно также определить по фазовой кривой. Если начальное загрязнение было очень сильным, то есть точка Р находилась далеко справа, то для этого может понадобиться много времени (убедитесь в этом по рисунку 1 или 2).

Сделаем еще следующее важное замечание. В предыдущем изложении мы считали, что процесс деструкции загрязнителя в течение определенного периода времени зависит лишь от наличной концентрации загрязнителя в начале этого периода, но не от предыстории процесса, то есть не от того, каким образом накопилось это начальное загрязнение. Вообще говоря, это может быть и не так, поскольку длительное предшествующее действие загрязнения может изменить свойства среды по отношению к наличной величине концентрации в данный момент, так что в разные моменты времени мы имеем дело с разной средой. Но мы предположим, что среда остается все время одной и той же. Заметим, что, в отличие от дальнейших фазовых портретов, фазовый портрет концентрации от однократного загрязнения зависит лишь от выбранного места, но не от расположения предприятия: он характеризует реакцию среды на загрязнитель в этом месте.

Конечно, однократные выбросы случаются редко, обычно вследствие аварий. "Нормально" работающее предприятие производит либо периодическое, либо непрерывное загрязнение среды в течение длительного времени. Оказывается, что для обоих этих случаев (а в действительности – и для самого общего процесса непрерывного загрязнения) можно получить фазовый портрет концентрации загрязнителя по известному фазовому портрету концентрации от однократного загрязнения. Этот важный результат, как мы увидим, позволяет понять процесс загрязнения среды действующим предприятием. Рассмотрим сначала случай, когда предприятие производит выбросы равной массы в отдельные моменты через равные промежутки времени – предположим, через год (напомним снова условный смысл этого периода!). Пусть, например, выброс производится в 0 часов первого января каждого года. [По сказанному выше, промежуток между выбросами ("год") должен быть в таком случае одного порядка с характерным временем деструкции загрязнителя. Если он значительно больше, то в промежутках между выбросами нового загрязнения не происходит, и дело сводится к фазовому портрету деструкции; если значительно меньше, то можно считать

выбросы непрерывными и применять поднятый график рисунка 6 (см. ниже)]

Обозначим фазовую функцию, соответствующую периодическому загрязнению, через $g(x)$. Оказывается, что если известна фазовая функция для однократного загрязнения $f(x)$, то можно найти по ней функцию $g(x)$. В самом деле, измерим концентрацию загрязнения 31 декабря текущего года, непосредственно перед полуночью; пусть она будет равна x . Величину концентрации от выброса в 0 часов 1 января, рассматриваемую сразу же после выброса, до начала деструкции, обозначим через d_0 ; это, наряду с периодом выбросов в один год, основная информация о вредной деятельности предприятия. Таким образом, общая концентрация в среде сразу же после выброса будет $x + d_0$. В течение следующего года, который мы будем считать годом наблюдения, это количество будет разрушаться без дальнейшего прибавления загрязнителя – до момента перед полуночью 31 декабря, когда, по определению фазовой функции однократного загрязнения $f(x)$, оно превратится в $f(x + d_0)$. Но, с другой стороны, мы обозначили фазовую функцию многократного периодического загрязнения через $g(x)$; следовательно, под действием многократного загрязнения (проявившегося за год наблюдения лишь в виде одного выброса 1 января) концентрация x перешла в $g(x)$. Итак,

$$g(x) = f(x + d_0).$$

Полученная функция $g(x)$ связана с $f(x)$ очень простым преобразованием – "сдвигом" графика на величину d_0 : это значит, что значение функции g в точке x равно значению функции f в точке $x + d$, сдвинутой вправо на d_0 (см. рис.3). Но тогда график функции g получается из графика f сдвигом влево на ту же величину d_0 .

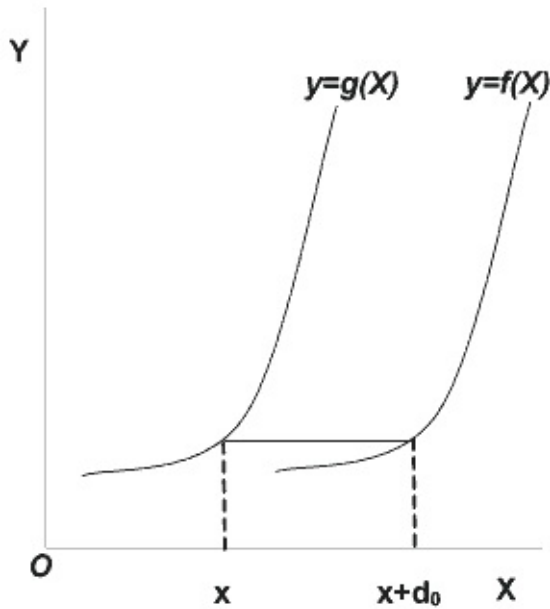


Рис.3

Итак, доказана следующая теорема:

Фазовая функция периодического загрязнения задается выражением

$$g(K) = f(K + d_0),$$

где $f(K)$ – фазовая функция деструкции в рассматриваемой среде, а d_0 – концентрация от однократного выброса, рассматриваемого предприятием сразу же после выброса.

Зная график $f(K)$ (рис.1), можно получить из него график $g(K)$ сдвигом влево на величину d_0 , причем значения $g(K)$ для отрицательных K , не имеющие смысла, отбрасываются (в доказательстве теоремы исходная концентрация x в начале наблюдения считалась неотрицательной). Далее мы рассмотрим, какой вид имеет "сдвинутая" кривая $M = g(K)$.

Для применения предыдущей теоремы надо знать фазовый портрет $M = f(K)$ однократного загрязнения, который можно измерить по одному выбросу, достаточно массивному, чтобы доставить большое значение исходной концентрации и, тем самым, найти вид кривой рисунка 1 при больших K . Как уже было сказано, такие выбросы происходят обычно в случае катастроф, последствия которых изучались. Таким образом, из несчастий, не делающих чести человеческому разуму, можно вывести информацию об экологическом ущербе от "нормально" действующих предприятий. [Заметим, что общий случай выбросов переменной массы можно свести к случаю однократного выброса, используя по существу только что описанный метод, то есть складывая концентрации, оставшиеся после деструкции от всех предшествующих выбросов. Для этого надо

выполнить хорошо известное в математической физике сведение непрерывных процессов к "дискретным", то есть происходящим в отдельные моменты]

Подвергнем теперь кривую $M = f(K)$ рисунка 1 преобразованию сдвига, о котором говорится в предыдущей теореме. Как легко убедиться, получается левая кривая рисунка 4 (рассматриваемая лишь при положительных значениях K). Бросается в глаза, что эта фазовая кривая имеет устойчивую точку равновесия 1, на пересечении с биссектрисой: вспомните исследование фазовых кривых в главе 1! Впрочем, мы займемся таким исследованием дальше.

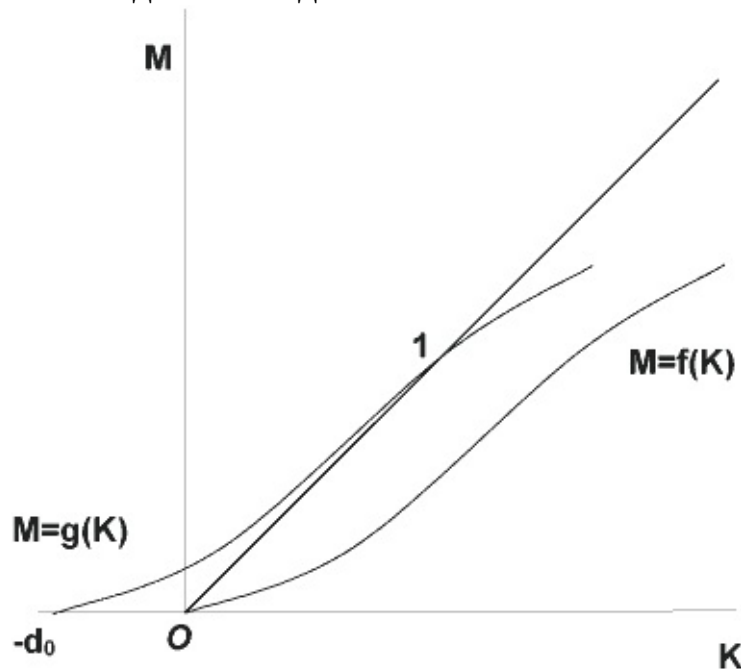


Рис.4

Рассмотрим теперь случай, когда предприятие производит равномерные выбросы все время. В этом случае надо знать, кроме фазового портрета деструкции (рис.1), еще концентрацию сразу же по истечении первого года работы предприятия, которую мы обозначим через d_1 . Ее можно приближенно отождествить со "среднегодовым выбросом" предприятия, то есть с суммой концентраций, возникающих сразу же после небольших периодов работы предприятия. Такое отождествление неточно, так как к концу года часть более ранних выбросов за этот год успевает разрушиться. Все же мы будем условно называть эту величину d_1 "среднегодовым выбросом", имея в виду предыдущее определение.

Пусть теперь в начале года концентрация, оставшаяся от всей предыдущей деятельности предприятия, равна x , Если бы в течение

последующего года наблюдения не было дальнейших выбросов, то в конце этого года, по определению фазовой функции однократного загрязнения, мы имели бы концентрацию $f(x)$. Но к этой величине прибавляется концентрация d_1 от непрерывной работы предприятия в течение года наблюдения, так что в конце года получается концентрация $f(x) + d_1$. Это и есть, по определению, значение фазовой функции непрерывного загрязнения $g(x)$ – концентрация, остающаяся в конце года такого загрязнения, если в начале его она была равна x . Итак, доказано следующее:

Фазовая функция непрерывного загрязнения задается выражением $g(K) = f(K) + d_1$,

где $f(K)$ – фазовая функция деструкции в рассматриваемой среде, а d_1 – среднегодовой выброс предприятия.

Каждое значение функции g больше соответствующего значения функции f на одно и то же число d_1 , что соответствует "подъему" графика на величину d_1 (рис.5).

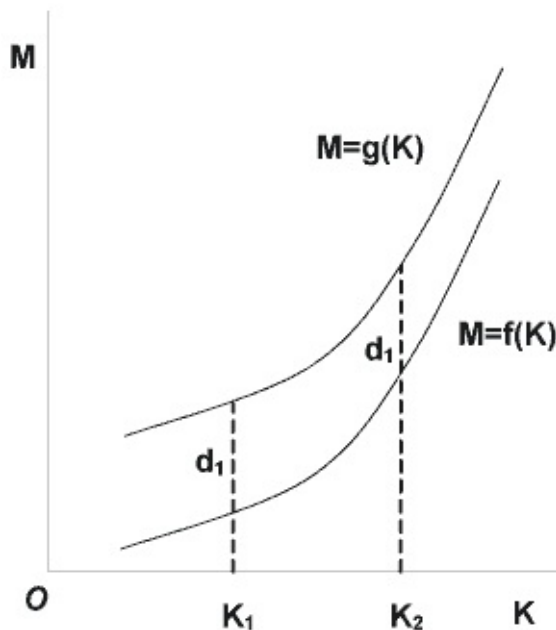


Рис.5

Если фазовая кривая деструкции от однократного загрязнения имеет вид, изображенный на рисунке 1 (о чем имеются убедительные данные), то, подняв этот график на величину d_1 , мы получим фазовую кривую непрерывного загрязнения, которая будет изучена дальше.

Как мы видели, в условиях постоянно действующего предприятия

фазовый портрет концентрации загрязнения получается из фазового портрета однократного загрязнения одной из двух процедур: в случае периодического загрязнения – сдвигом влево на d_0 , в случае непрерывного загрязнения – подъемом вверх на d_1 . Результаты, которые получаются для фазовой функции $g(x)$, в обоих случаях сходны. Мы проведем исследование, для определенности, во втором случае, предоставив читателю рассмотреть аналогичным образом первый.

При подъеме на d_1 левый конец кривой $M = f(K)$, находящийся в начале координат, поднимается в точку $(0, d_1)$ и оказывается таким образом выше биссектрисы координатного угла. С другой стороны, при больших значениях K кривая $M = f(K)$ совпадает с прямой $M = c_1 K$, где $0 < c_1 < 1$. Следовательно, наклон этой прямой к оси K меньше 45° , и эта прямая, а вместе с ней и фазовая кривая при больших K , лежит ниже биссектрисы. Для промежуточных значений K возможны разные случаи.

(1) Кривая $M = f(K) + d_1$ пересекает биссектрису в единственной точке 1 (рис.6) в направлении сверху вниз. Из прямого геометрического рассмотрения рисунка 1 ясно, что так обстоит дело при не слишком больших значениях d_1 , когда точки кривой, далекие от биссектрисы в начале подъема, не успевают до нее подняться. При этом получается верхняя кривая, изображенная на рисунке 6.

Прием отражения в биссектрисе, выработанный в главе 1, показывает, что на этой кривой есть единственная точка устойчивого равновесия – точка 1; обозначим ее абсциссу через K_1 . Точка фазовой кривой P_0 с абсциссой K_0 при $K_0 < K_1$ движется вправо, и через некоторое число шагов, соответствующих в нашей условной хронологии годам, подойдет сколь угодно близко к точке 1. Если же исходное значение $K_0 > K_1$, то точка фазовой кривой движется влево, к той же точке 1. Итак, точка 1 изображает состояние среды с установившейся концентрацией загрязнения K_1 . Поскольку фазовая кривая больше нигде не пересекает биссектрисы, других точек устойчивой концентрации нет. Насколько велика концентрация K_1 , зависит от формы кривой деградации $M = f(K)$ и от значения среднегодовой концентрации d_1 . По этим данным, как мы увидим, можно заранее предсказать устойчивую концентрацию K_1 , а, следовательно, решить, будет ли терпимо предприятие с таким загрязнением, и если надо, отказаться от его постройки или закрыть его.

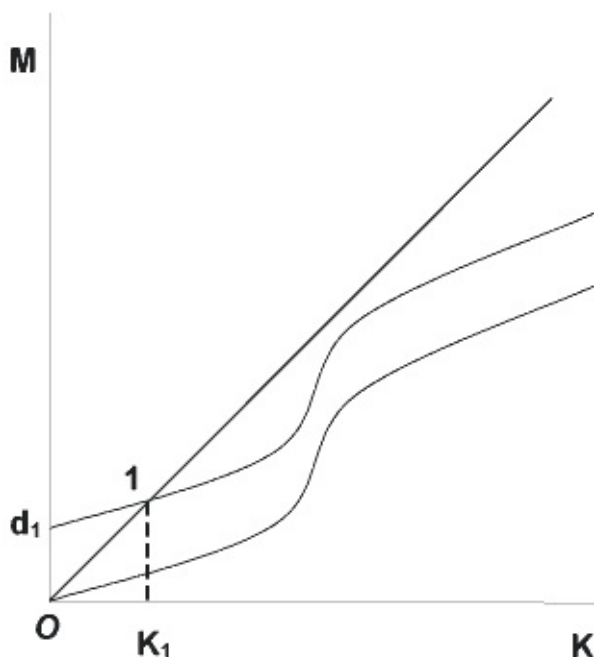


Рис.6

(2) Кривая $M = f(K) + d_1$ пересекает биссектрису в трех точках 1, 2, 3. Это происходит при бо'льших значениях d_1 : при возрастании d_1 кривая $M = f(K) + d_1$ поднимается, и при некотором значении $d_1 = d_{1a}$ ее выпуклая часть касается биссектрисы, после чего часть этой кривой поднимается над биссектрисой, как это видно на рисунке 7 (верхняя кривая). Мы будем называть число d_{1a} первым критическим значением. Поскольку при больших значениях K эта кривая параллельна прямой $M = c_1 K$, образующей с осью K угол меньше 45° , то она в конце концов уходит под биссектрису. Тогда кривая $M = g(K)$ в самом деле пересекает биссектрису в трех точках, которые мы и обозначили через 1, 2, 3.

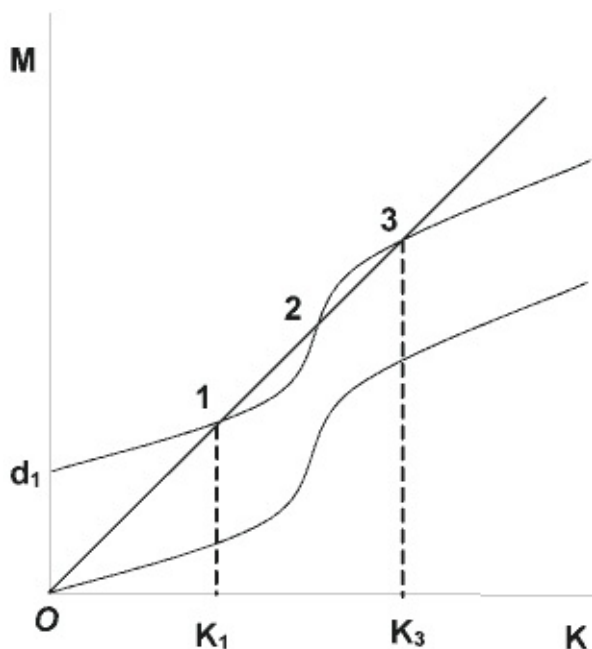


Рис.7

(3) Кривая $M = f(K) + d_1$, при еще бо'льших значениях d_1 , пересекает биссектрису опять в единственной точке 3, а точка 1 исчезает (рис.8). В самом деле, если дальше увеличивать d_1 , то при некотором значении $d = d_{1b}$ (которое мы назовем вторым критическим значением) вогнутая часть кривой касается биссектрисы, а затем поднимается выше нее, так что точки пересечения 1 и 2 исчезают. Но точка пересечения 3 остается, так как при больших значениях K кривая по-прежнему опускается ниже биссектрисы. Концентрация загрязнения K_3 , равная абсциссе точки 3, в этом случае еще выше, чем в случае (2). Для большинства загрязнителей такой уровень концентрации недопустим.

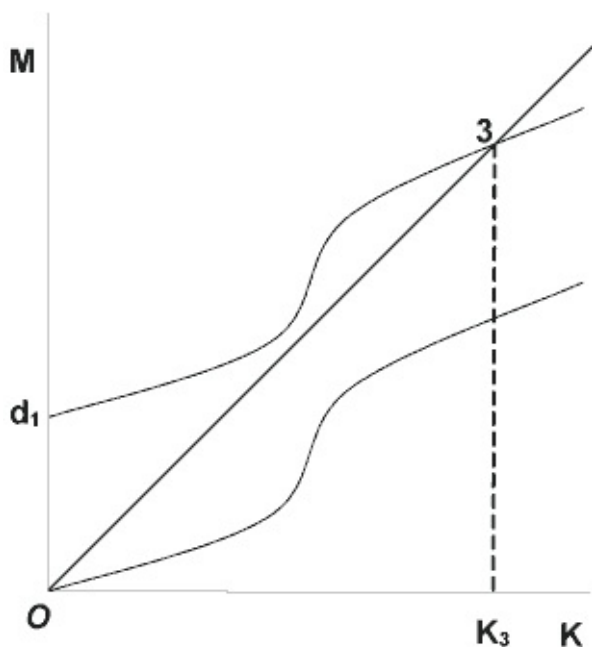


Рис.8

Важнейшее практическое значение имеет точка устойчивого равновесия 1 – режим, в котором работают все "нормальные" (не экологически преступные) предприятия. Для этой точки надо найти концентрацию загрязнения K_1 – ее абсциссу.

Поскольку все наши кривые – эмпирические, требуемое значение K_1 находится графически. Это делается, как показано на рисунке 9. Нижняя кривая на этом рисунке – фазовый портрет деградации $M = f(K)$, верхняя кривая – фазовый портрет непрерывного загрязнения $M = g(K)$, получаемый из предыдущего подъемом на d_1 . Отложим по оси M вниз от начала координат отрезок OP_0 длины d_1 , затем проведем через точку P_0 прямую, параллельную биссектрисе, до пересечения с нижней кривой в точке P_1 . Тогда вертикальная прямая, проходящая через P_1 , пересекает биссектрису в точке, лежащей выше точки P_1 на d_1 и, следовательно, принадлежащей верхней кривой; но поскольку точка пересечения верхней кривой с биссектрисой есть не что иное, как точка равновесия 1 (см. рис.6), то мы нашли точку 1. Поэтому абсцисса точки P_1 , которую мы обозначим через K_1 , равна ординате точки 1, а эта последняя состоит из отрезка K_1P_1 длины $f(K_1)$ и отрезка P_11 длины d_1 – то есть $K_1 = f(K_1) + d_1$, иначе говоря, K_1 есть корень уравнения $K = f(K) + d_1$.

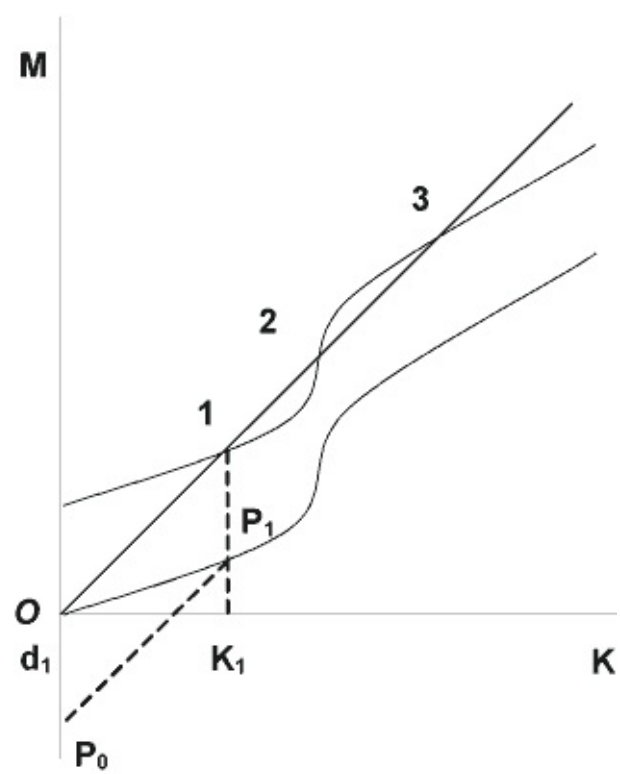


Рис.9

Картина экологического бедствия

Концентрация загрязнения, о которой была речь выше, относится, конечно, к определенной точке местности, окружающей предприятие. Рассмотрим простейший случай, когда эта местность однородна, то есть окружающая среда везде одинакова. Тогда реакция этой среды на загрязнение везде одна и та же, то есть во всех точках окружающей местности действует одна и та же фазовая кривая деструкции попавшего в эту точку загрязнения: $M = f(K)$. Напомним, что эта кривая характеризует процесс деструкции исходной концентрации K , каким бы образом она ни образовалась, и зависит только от свойств среды, которую мы считаем однородной.

Величина среднегодового выброса предприятия d_1 есть, по определению, концентрация от работы этого предприятия в течение года, измеренная сразу же по истечении этого года, предполагая, что до этого года предприятие не работало. Конечно, результат такого измерения зависит от того, где оно производится: чем дальше от предприятия, тем меньше получается d_1 , поскольку загрязнение распределяется по большей площади. Для экологической ситуации в точке местности P (рис.10) существенно ее расстояние от предприятия, расположенного в точке O . Если пренебречь "розой ветров", то есть преимущественными направлениями воздушных потоков, то можно считать, что d_1 зависит только от расстояния OP и является убывающей функцией от него:

$$d_1 = S(OP).$$

На равном расстоянии от O эта функции постоянна; поэтому на каждой окружности с центром в O она принимает постоянное значение и, следовательно, фазовая функция непрерывного загрязнения $g(K) = f(K) + d_1$ тоже постоянна.

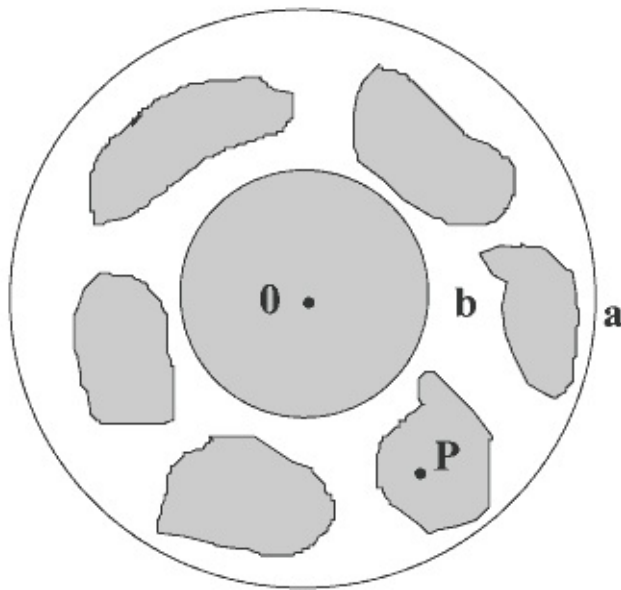


Рис.10

Рассмотрим теперь следующие случаи.

А. В непосредственной близости предприятия O выполняется неравенство $d_1 < d_{1a}$, где d_{1a} – первое критическое значение, введенное в предыдущем параграфе. Поскольку величина d_1 – убывающая функция расстояния, это неравенство выполняется везде. Следовательно, везде реализуется случай (1), когда существует только одна точка устойчивого загрязнения 1. Концентрация этого загрязнения K_1 убывает при удалении от O , и значение этой концентрации в разных местах надо сравнить с принятыми критериями допустимости – по меньшей мере с таким не слишком надежным критерием, как "предельно допустимая концентрация", характер которого будет рассмотрен ниже.

Б. В непосредственной близости O выполняется неравенство $d_{1a} < d_1 < d_{1b}$, где d_{1b} – второе введенное выше критическое значение. Тогда существует окружность a с центром в O , на которой $d_1 = d_{1a}$, вне которой $d_1 < d_{1a}$, и внутри которой $d_{1a} < d_1 < d_{1b}$. Вне окружности a возможен только случай (1), о чем уже говорилось выше. Внутри этой окружности реализуется случай (2), то есть возможно одно из двух устойчивых загрязнений – 1 или 3. Какая из этих возможностей наблюдается в том или ином месте внутри окружности a , зависит от случая. Поскольку условия местности все же не вполне тождественны (так что наше идеальное предположение, как всегда, соблюдается не совсем точно), то в некоторых частях области внутри a будет концентрация K_1 , а в других – K_3 . Эти

последние места на рисунке 10 отмечены штриховкой. Часто случается, что в таких местах концентрация превышает предел выносливости растений, и тогда можно наблюдать островки местности, где растительность явно угнетена, среди других, благополучных на вид мест – или наоборот. Такая "лоскутная" структура местности вокруг предприятия, свидетельствующая о наличии устойчивого загрязнения типа 3, есть очевидный признак экологического бедствия.

В. В непосредственной близости О выполняется неравенство $d_1 > d_{1b}$. Тогда существует окружность b (рис.10), на которой $d_1 = d_{1b}$. Следовательно, внутри b возможно только устойчивое загрязнение типа 3, обычно с очень высокой концентрацией K_3 (поскольку, как видно из рисунка 8, пересечение фазовой кривой с биссектрисой может быть сколь угодно далеко). В заштрихованном круге наблюдается сплошное угнетение растительности, и люди, работающие на таком предприятии или живущие по соседству с ним, должны знать об угрожающей им опасности.

Между окружностями b и a местность носит "лоскутный" характер – что и наблюдается в ряде случаев. Наконец, вне окружности a внешние признаки отравления местности исчезают; как уже было сказано, это вовсе не значит, что такие места пригодны для обитания человека. Здесь необходимы, как мы увидим, дальнейшие исследования.

Мы предположили выше, что в рассматриваемой местности нет преимущественных направлений ветров. Если такие направления есть, то картина экологического бедствия, изображенная на рисунке 10, искажается, но сохраняет свои качественные особенности. Например, при одном преимущественном направлении ветра вместо окружностей a и b получаются овалы, вытянутые вдоль этого направления.

Экологические особенности России

Мы не можем дать здесь подробный обзор экологического положения России – не только потому, что это вряд ли уместно в общем руководстве, но еще и по той причине, что необходимые для этого данные либо не существуют, либо ненадежны. Поэтому мы ограничимся некоторыми общими замечаниями.

I. Россия необычайно богата экологическими благами: территорией, полезными ископаемыми, водой, лесом, черноземом, и т.д. Если попытаться оценить эти блага, приходящиеся на одного российского гражданина, то получится, что он не менее чем в десять раз богаче среднего обитателя Земли, – даже сейчас, после всех совершенных у нас злодеяний против природы! Читатель, не верящий таким оценкам, может припомнить горькое сравнение Менделеева: нищий на золотом троне.

В отношении экологических богатств Россия сродни только двум странам – Канаде и Бразилии. Значительная часть этих богатств распространяется по всему земному шару и достается всем людям даром: это воздух и отчасти вода. Другие блага продаются, и в зависимости от того, как распорядиться продажей "природных ресурсов", можно прийти либо к канадскому варианту (самый высокий в мире уровень "качества жизни"), либо к бразильскому (достаточно бедному в расчете на душу населения). Все три страны заинтересованы в расширении "ассортимента" продажи "экологических полезностей", в том числе таких "невесомых", как атмосфера. Но благополучие гражданина зависит от того, что правящая элита делает с вырученными деньгами.

II. Когда строят экологически вредное производство (завод или сельскохозяйственный объект), то по мере увеличения объема производства (или концентрации мощности) нарастает и экологический вред. Этот вред можно представить формулой $a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots$, где x – мощность предприятия: при малых x вредность нарастает линейно, но при бо'льших значениях x она увеличивается как некоторая степень x ; например, если написанное выше выражение ограничивается двумя первыми членами, то увеличение мощности x означает увеличение x^2 в четыре раза, а вредности – еще больше, из-за члена первой степени. Мало того, для предприятий большой мощности проблемы отходов могут стать почти неразрешимыми, как это бывает не только в случае крупного химического комбината, но и в случае крупной свинофермы. Предприятия-"монстры" заражают

окружающую местность таким образом, как это было описано в предыдущем параграфе: они создают вокруг себя пустыню, отравляя жизнь окрестному населению и оставляя почти неразрешимые задачи восстановления природы нашим потомкам.

Например, в Красноярске можно отметить два экологических «достижения», заслуживающих внесения в книгу рекордов Гиннеса. Первое из них – это расстояние от алюминиевого завода до резиденции губернатора; второе – по-видимому, величайшая в мире искусственная полынья, нарушившая режим Енисея.

В Советском Союзе строительство предприятий-монстров стало официальным идеалом, и в ряде случаев вышло за пределы худших "мировых стандартов". Гигантские размеры предприятий выбирались не только из соображений ложно понятого престижа, но также из ложно понятой выгоды. Дело в том, что чем больше мощность предприятия, тем ниже себестоимость единицы продукции; но тем выше штрафы за экологический ущерб. В цивилизованных странах, где население умеет защищать свои интересы эффективным законодательством, размеры предприятий определяются обоими только что указанными факторами. Если все же возникают монстры, то это означает изобретение новой техники очистки.

Иначе обстояло дело в Советском Союзе, где население не влияло на решение хозяйственных вопросов, и где экологический ущерб, как правило, просто не принимался во внимание. В таких условиях правящая элита могла воображать, что гигантские предприятия строить выгодно – и она сделала их частью своей официальной идеологии. О населении здесь думали меньше всего.

III. В России плотность населения падает с запада на восток, так что экологические трудности тоже, как можно было думать, убывают в этом направлении. Ветры, преимущественно дующие с запада, переносят к нам загрязнения из Европы, доходящие до Урала. Для Европейской России экологию приходилось все-таки учитывать, особенно близ границ и в Москве, где проживает привилегированная публика. Но для Сибири и Дальнего Востока никаких ограничений не было. Здесь и строились предприятия-монстры, больше всего на Урале и в узкой полосе вдоль сибирских железных дорог, а также на сибирском Севере (нефть и норильский никель). Эти монстры особенно дороги нашей правящей элите, как источник валюты, уходящей за границу. На экологические интересы населения владельцы таких предприятий могут не обращать внимания – ни россияне, ни иностранцы. Население по-прежнему бессильно.

Глава 3. Штрафы и их последствия

Динамика экологического ущерба только начинает развиваться, и мы еще очень мало знаем о естественных процессах деструкции загрязнителей. Как уже было сказано, фазовые портреты деструкции для различных сред и загрязнителей еще предстоит определить, что потребует трудоемких наблюдений. В настоящее время борьба с загрязнениями ведется с помощью двух показателей, измерение которых должно производиться или действительно производится, и которые служат основанием для установленных законом санкций за экологический ущерб. Первый из этих показателей – это концентрация данного загрязнителя в данной загрязняемой среде: измеряется масса этого вещества, приходящаяся, например, на 1 кв. метр поверхности земли или 1 куб.метр воды или воздуха. Концентрации измеряются в разных местах время от времени, в порядке, предусмотренном разными инструкциями, но не соответствующем какой-либо научной концепции.

Законом установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) для разных веществ в разных средах, превышение которых считается вредным для человека и сопутствующих ему животных и подлежит наказанию. Разумеется, эти оценки зависят от современного состояния медицины и биологии, а потому в значительной мере произвольны. Конечно, лучше назначать такие показатели с избыточной строгостью, что и делалось в бывшем Советском Союзе – с обычным предположением, что законы выполняются, когда это удобно. Положение в России и сейчас не изменилось.

К сожалению, смысл "предельно допустимых концентраций" зачастую непонятен даже образованной публике. Обычно думают, что ПДК – это концентрация некоторого вещества, ниже которой это вещество еще безвредно, и что ПДК устанавливается с достаточным запасом, чтобы полностью предотвратить ущерб для здоровья населения. В таком случае – как обычно полагают – достаточно соблюдать вытекающие из ПДК ограничения, чтобы не произошло никакого экологического ущерба. Соответственно этому, общественное мнение и средства массовой информации обращают внимание только на нарушения установленных п.д.к. и успокаиваются, как только загрязнения становятся ниже ПДК Такой подход к проблеме экологического ущерба основан на непонимании того, что такое ПДК.

Чтобы оценить мрачную действительность, стоящую за этим сокращенным обозначением, надо иметь в виду, что вредные вещества, выбрасываемые промышленными предприятиями и транспортом, вызывают вполне доказанное, статистически измеримое возрастание заболеваний и смертности от определенных болезней. Например, очень многие из этих веществ способствуют заболеванию раком, которое происходит, конечно, и без них, но в меньших размерах. Для данной местности, насчитывающей N жителей, можно установить число заболеваний раком в течение их жизни; пусть это число равно M . Тогда отношение M/N называется вероятностью заболевания для данной популяции. На рисунке 1 изображена зависимость вероятности заболевания раком f от концентрации рассматриваемого загрязнителя U , характерная также для ряда других болезней и для многих видов загрязнения.

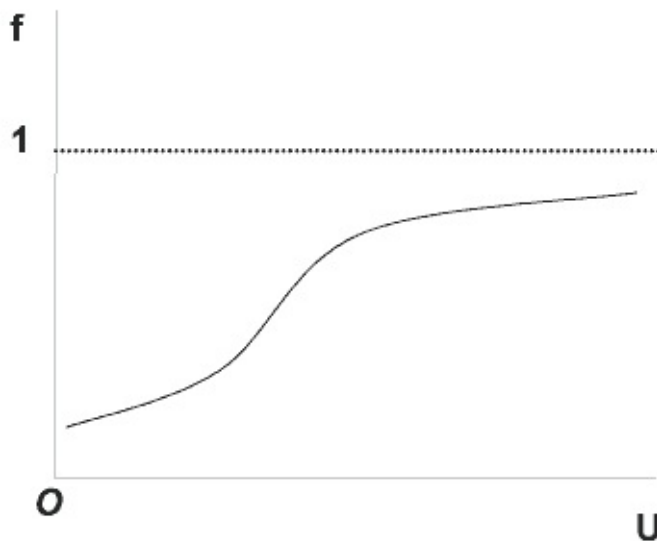


Рис.1

Аналогично выглядит и кривая смертности, в зависимости от загрязнения. Конечно, люди болеют и без промышленного загрязнения среды: например, они заболевают раком без видимых причин или, как говорят, "случайно". Но случайные явления можно изучать статистическим методом: как уже было сказано, находят вероятность заболевания при отсутствии и при наличии загрязнения. И хотя эта вероятность ничего не говорит о судьбе отдельного человека, она характеризует долю населения, которая заболевает. Например, если вероятность $f = 0,001$, а $N = 100000$, то в этом городе заболеет около 100 человек. Если условия жизни изменятся, скажем, вследствие введения в действие нового предприятия, то вероятность заболевания может повыситься: например, при $f = 0,0012$

заболеет на 20 человек больше. Это – статистический вывод, в том смысле, что нельзя предвидеть, кто именно заболеет, и что может заболеть не в точности 120 человек, а 118 или 121; но статистика дает оценку этого числа. Реальность таких оценок подтверждается опытом: если вероятность f уже известна из опыта и открывается еще один завод, производящий такое же загрязнение, то врачи могут убедиться, насколько возросло число больных. Кстати, статистика этого рода в бывшем Советском Союзе считалась секретной.

Кривая рисунка 1 имеет типичную для многих биологических процессов Z-образную форму. При нулевой концентрации U вероятность заболевания f уже положительна, хотя и невелика. При возрастании концентрации загрязнения эта вероятность медленно растет; затем она растет все круче и, наконец, при очень больших значениях U приближается к единице: это значит, что заболевание практически гарантировано для всех. Такой конец ожидает, например, тех, кто слишком долго работает на цементных заводах или на шахтах с неблагоприятным составом породы: соответствующая болезнь называется силикозом.

ПДК устанавливают на уровне, где кривая $f(U)$ поднимается еще "достаточно медленно", причем смысл последнего термина в разных странах толкуют по-разному. От такого произвола законодателей зависит – надо себе ясно представить, что это значит – сколько людей умрет от такой-то болезни сверх "нормы", установленной для нас природой. В некоторых странах п.д.к. задается столь "щедро", что допускает увеличение смертности на 10 – 15 %. Это значит, что от определенного вида загрязнения умрет 10 – 15 человек сверх каждой сотни, которая умерла бы без него от той же болезни. Надо осознать, что к.п.д. сознательно приносит этих людей в жертву, оправдывая ее экономическими соображениями – интересами промышленности или удобством использования автомобилей. Если бы пренебрегли этими интересами и удобствами – говорят обыкновенно противники экологических запретов – то снизился бы жизненный уровень всего населения. Вот о чем идет речь, когда в парламенте обсуждается вопрос о ПДК.: идет торг о том, сколько человеческих жизней можно принести в жертву Молоху "массового потребления". Общество вряд ли допустило бы это, если бы было известно, кто именно умрет от такого-то закона: нашей западной цивилизации все еще чуждо представление о том, что "для общего блага" можно приносить в жертву конкретных людей. Но если имеются в виду анонимные – неизвестно чьи – жизни, то общество лицемерно закрывает глаза на такие операции. Впрочем, одним из способов анонимного жертвоприношения

всегда была война.

Чтобы придать выработке ПДК "объективный" вид, часто применяется описываемая дальше лицемерная процедура. Точный вид кривой $f(U)$, конечно, неизвестен: ее строят, проводя гладкую линию через точки, изображающие наличные данные. Эти данные не всегда точны и, как правило, неполны, а способ проведения кривой несколько произволен. Чтобы указать неточность этого построения, применяют методы математической статистики, оценивающие возможную ошибку полученной кривой небольшим положительным числом $\pm \Delta$: это значит, что истинная (неизвестная) кривая $f(U)$ с большой вероятностью лежит в "коридоре" между кривыми $f(U) - \Delta$ и $f(U) + \Delta$, окружающими предполагаемую (построенную по точкам) кривую $f(U)$ (см. рис.2, где предполагаемая кривая $f(U)$ изображена сплошной линией, а границы "коридора" – пунктиром).

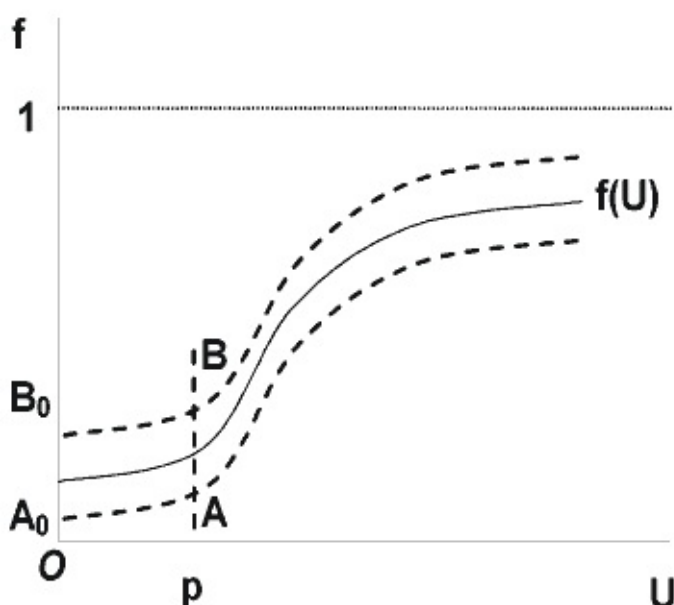


Рис.2

При этом говорят, что истинная кривая отличается от предполагаемой меньше чем на Δ . Пусть теперь выбрано некоторое значение п.д.к., равное p . Проведем вертикальную прямую с абсциссой p и обозначим через AB отрезок, по которому она пересекает "коридор". С другой стороны, ось f пересекает "коридор" по вертикальному отрезку A_0B_0 . Истинная кривая заболеваемости $f(U)$, лежащая в "коридоре", должна пересечь оба этих отрезка – допустим, первый из них в точке C , а второй в точке C_0 (чтобы не загромождать чертеж, мы не изобразили на нем истинную кривую и точки

C , C_0 ; соответствующий кусок "коридора" показан в увеличенном масштабе на рисунке 3, где истинная кривая представлена жирной линией). По определению

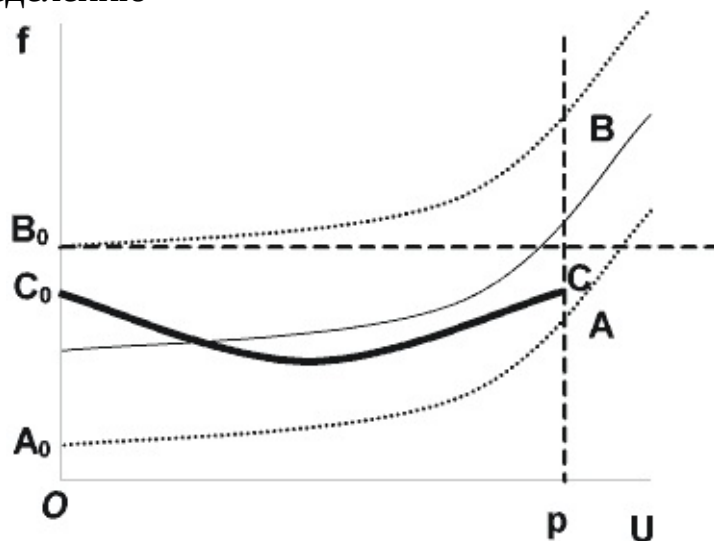


Рис.3

истинной кривой, ордината точки C , то есть $f(p)$, равна вероятности заболевания при загрязнении p , а ордината точки C_0 , то есть $f(0)$, равна вероятности заболевания при полном отсутствии загрязнения. Предположим, что эти вероятности равны: геометрически это значит, что точки C , C_0 находятся на одинаковой высоте, что возможно при не слишком большом p . Но если вероятность заболевания при загрязнении p *может* быть равна вероятности при отсутствии загрязнения (то есть доступная точность данных не исключает такой возможности), то нельзя строго доказать, что загрязнение повышает заболеваемость. Процедура выбора ПДК, подсказываемая этой "недоказуемостью", состоит в следующем: проводят через точку B_0 горизонтальную прямую до пересечения с нижней границей "коридора" и берут точку A несколько ниже точки пересечения; абсцисса точки A принимается за ПДК. Читатель может проверить, что при таком выборе p отрезок AB и отрезок A_0B_0 пересекаются одной горизонталью.

Итак, ПДК выбирают настолько большим, чтобы оставалась еще возможность отрицать вред от загрязнения, а затем недоказуемость вреда выдают за доказательство безвредности! В сущности, вся эта ученая процедура основана на старом правиле "не пойман – не вор", причем сомнение толкуется в пользу бизнеса, а не в пользу человеческих жизней. Правда, при уточнении методов исследования возможная ошибка уменьшается и "коридор" сужается, так что ПДК, получаемая предыдущей

процедурой, должна быть снижена (проверьте это по рисунку 2). Но ведь есть много способов доказывать, что полученные данные все еще ненадежны и, следовательно, нельзя заменить их меньшей оценкой. Тут уже все зависит от добросовестности экологов и врачей.

Несомненно, ограничение концентрации вредных веществ полезно, но само по себе недостаточно. Дело в том, что такое ограничение оставляет предприятиям возможность рассеивать свои отходы по большой площади, что снижает концентрацию, но способствует распылению их по более обширной территории: в этом состоит одно из назначений высоких заводских труб. Чтобы воспрепятствовать такой практике, измеряют массы выбрасываемых веществ и вводят ограничения на эти массы – предельно допустимые выбросы (ПДВ).

При всей недостаточности мер, основанных на этих показателях, они все же полезны, и несоблюдение предусмотренных законом ограничений вызывает справедливое возмущение. Например, в промышленных зонах наших городов концентрация в почве тяжелых металлов часто в сотни и тысячи раз превышает ПДК. Такие факты широко обсуждаются в печати, и мы не будем заниматься оценкой явлений, не зависящих от научного знания.

Заметим только, что оба применяемых показателя совершенно недостаточны для эффективного контроля над окружающей нас средой. Для этого необходимо разработать систему практически удобных показателей, отражающих фазовые портреты деградации загрязнений и дающих обоснованную информацию о тенденциях различных экологических процессов. Ясно, что за экологический ущерб виновных надо наказывать. Единственный эффективный способ наказания, который может в самом деле содействовать выходу из экологического кризиса – в отличие от разных пропагандистских ухищрений, обычно преследующих посторонние цели – это наложение штрафов.

Конечно, если не решено, за что штрафовать, то есть каким образом измерять наказываемую экологическую вину, то может показаться беспредметным всякое обсуждение вопроса о штрафах. Но в действительности это обсуждение уже сейчас возможно и необходимо. Дело в том, что штрафы действуют на людей так же, как другие экономические мотивы, подробно обсуждаемые дальше, в главах о рынке: вовсе не углубляясь в психологию предпринимателей, можно предвидеть, как они будут реагировать на денежные потери. Представим себе, что у нас есть какие-нибудь показатели экологического ущерба – хотя бы столь несовершенные, как пресловутые ПДК и ПДВ. Если есть основания

полагать, что снижение этих показателей приведет к улучшению экологической ситуации, то не следует ждать до тех пор, пока наука выработает лучшие показатели – тем более, пока их примет государственная власть. Штрафы, основанные на этих показателях, уже могут быть полезны, если только эти штрафы в самом деле заставят предпринимателей принимать меры для их снижения. Более того, когда будут разработаны и приняты лучшие показатели загрязнения среды, надо будет только "переставить" штрафы на эту новую основу, и субъекты, научившиеся реагировать на штрафы по старым показателям, несомненно станут так же действовать и в новой системе штрафования: ведь их рыночные мотивы поведения останутся теми же. Меры против загрязнения могут состоять, например, в устройстве очистных сооружений, или даже в коренной перестройке технологии производства.

Набросок теории штрафов, излагаемый дальше, не зависит от того, за какие именно провинности штрафуют предпринимателей: важно только, что устранение этих провинностей улучшает экологическую ситуацию, и что принятая система штрафов в самом деле вынуждает этих людей, руководствующихся только своими личными интересами, устранять то, что им вменяется в вину.

До сих пор мы занимались только экологическим ущербом, простейшим видом которого являются загрязнения: заинтересованной стороной здесь является население. Другой заинтересованной стороной являются предприятия, работа которых создает этот ущерб. Наконец, есть еще и третья сторона – штрафующие органы, создаваемые государственной властью для осуществления принятой этой властью политики штрафов. Было бы наивно полагать, что люди, служащие в этих органах, не имеют никаких интересов, кроме общественных: такие энтузиасты встречаются, но мы должны считаться со средними людьми, а средние люди чаще всего преследуют свои собственные интересы. Поэтому мы будем исходить из того, что штрафующие органы, оставаясь в рамках принятых законов о штрафах, будут применять их в своих интересах. Мы не рассматриваем случая, когда эти органы вовсе не соблюдают законов, поскольку в таком случае они просто будут на содержании предприятий. Штрафование может быть эффективным лишь тогда, когда прямое нарушение законов ни для кого не остается безнаказанным. Дальше мы увидим, как можно обходить законы о штрафах, и как можно с этим бороться.

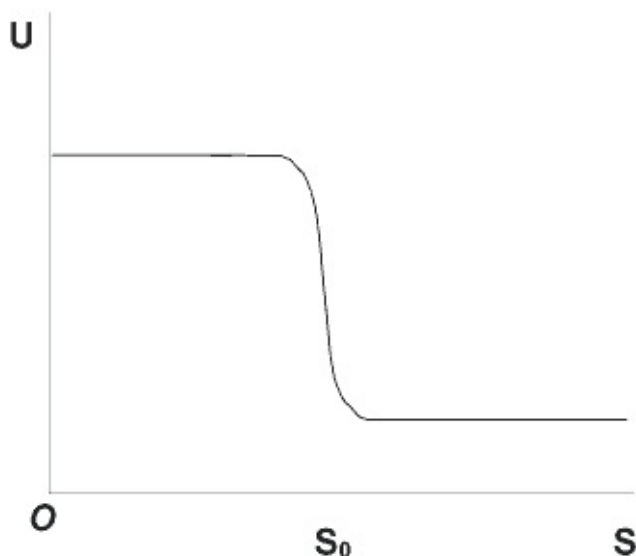


Рис.4

Простейший случай, когда штраф может повлиять на экологическую ситуацию, изображен на рисунке 4. На этом рисунке по оси абсцисс откладывается величина штрафа за "единицу загрязнения" (вспомните, что говорилось выше о различных оценках экологических нарушений). Величина штрафа S устанавливается властями и может меняться со временем, но на рисунке 4 изображена не зависимость штрафа от времени, а зависимость экологического ущерба от величины штрафа. По оси ординат откладывается величина U экологического ущерба, происходящего при заданной величине штрафа S . Как видно из рисунка, вплоть до некоторой пороговой величины штрафа S_0 предприятие никак не реагирует на штрафы, то есть ему выгоднее выплачивать штрафы, чем ставить очистные устройства. (Напомним, что прямое нарушение законов не допускается, так что при доказанном нарушении закона предприятие в самом деле платит штраф!). Когда штраф возрастает до критического размера S_0 , предприятию оказывается выгоднее поставить очистные устройства, чем продолжать платить такие штрафы: выбросы резко уменьшаются, что соответствует переходу с верхней ступени рисунка 8 на нижнюю. Естественно, этот новый уровень выбросов удовлетворяет предприятие, поскольку очистные устройства и были поставлены с этой целью. Так как загрязнение резко снизилось, ситуация около критической величины штрафа S_0 удовлетворяет также население. Но она не удовлетворяет штрафующий орган!

В самом деле, рассмотрим практику штрафования с точки зрения интересов штрафующих чиновников. В течение года они взимают в виде штрафа общую сумму денег D , зависящую от величины штрафа за единицу

загрязнения S : эта зависимость представлена на рисунке 5, где линейная часть графика изображает пропорциональный рост суммы D при повышении штрафа и постоянном уровне загрязнения. Обычно чиновники и содержатся за счет этой суммы, причем их деятельность стимулируют, оставляя им определенную долю их "выручки". В этих деньгах, конечно, заинтересована и местная администрация, но для простоты мы будем говорить о прибыли чиновников.

Ясно, что вплоть до уровня штрафа S_0 , когда в экологии ничего не меняется, а чиновники регулярно взимают свою мзду, мы имеем дело с обыкновенным рэкетом: это попросту навязываемый предпринимателям подбор, предлог которого всем безразличен. И точно так же, как обыкновенный рэкет не уменьшает преступности, экологический рэкет не уменьшает загрязнения.

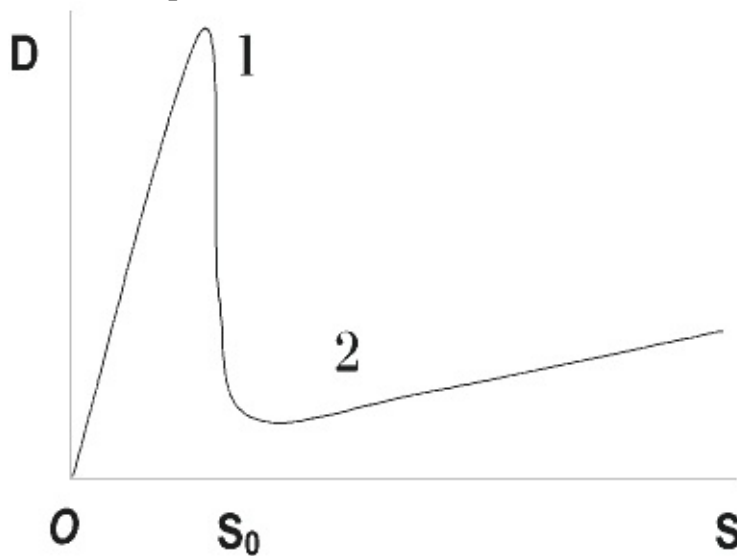


Рис.5

По закону (или по решению местной администрации) устанавливается некоторое значение штрафа S , но фактический уровень штрафования во многом зависит от людей, налагающих штрафы. Эти люди могут смотреть сквозь пальцы на часть нарушений, получая за это взятки или просто руководствуясь тем очевидным соображением, что при слишком строгом штрафовании можно в самом деле заставить виновников заняться очисткой, а от этого поступление прибыли уменьшится (как это видно на рисунке 5 после критической точки). Чиновники очень гибко применяют — или не применяют — установленные нормы, и поскольку в этом их главный

интерес, то поведение этих людей почти бессознательно. Таким образом, предприниматель, который принимает в расчет среднюю величину штрафования, реагирует не на официальную норму штрафа, а на его фактический уровень. По существу, этот средний уровень штрафа и следует принимать за величину S в наших рассуждениях.

Конечно, чиновники вовсе не заинтересованы в экологических результатах штрафования: они оптимизируют свою прибыль. В случае, изображенном на рисунках 4 и 5, они предпочли бы поддерживать штраф на уровне, чуть меньшем порогового значения S_0 , извлекая наибольшие выгоды из своего рэкета, но не заставляя предпринимателей спасаться от невыносимых штрафов установкой очистных сооружений. Этот уровень соответствует верхней точке графика 5.

Предположим, однако, что под действием общественного мнения, возмущенного продолжающимися загрязнениями, приходится поднять штраф до уровня эффективности S_0 . Тогда, сохраняя этот уровень штрафа, можно было бы держать загрязнения на нижнем уровне рисунка 4, устраивающем и население, и предпринимателей, поскольку они устроили очистку как раз до такого уровня, при котором готовы платить штраф S_0 . Но тогда недовольна штрафующая организация, лишившаяся своего рэкета, и может быть недовольна администрация, получающая главную часть прибыли от штрафа и отдающая штрафующим чиновникам установленную долю этой прибыли в виде премии: в самом деле, ведь сумма поступлений от штрафа, соответствующая критическому значению штрафа, изображается ординатой графика 5 в точке S_0 и, следовательно, гораздо ниже прежних прибылей от штрафного рэкета!

Тотчас же приводятся в действие механизмы обработки общественного мнения. Людям объясняют, что пониженный уровень загрязнений после введения очистки все еще опасен для здоровья, что принятые меры недостаточны, и что надо еще больше повысить штрафование, чтобы заставить предпринимателей считаться с интересами населения. Всю эту благородную словесность, разумеется, поддерживают врачи, искренне озабоченные возможными последствиями загрязнения, как и должны быть озабочены врачи, и политики, повторяющие аргументы врачей и заказывающие новые аргументы. Вследствие этой корыстной пропаганды приемлемое для общества равновесие в точке S_0 оказывается неустойчивым.

После этого начинается новая эскалация штрафа. Так как загрязнения теперь остается постоянным – на пониженном уровне рисунка 4 – то при

повышении штрафа прибыль штрафующей организации и ее покровителей в администрации снова растет по линейному закону, то есть пропорционально величине штрафа, и предприниматели выплачивают все бо'льшие суммы штрафа за одно и то же загрязнение, между тем как экологическая ситуация остается неизменной, на уровне, установившемся после пуска очистных сооружений. Хотя прибыли от штрафа не достигают обычно прежних размеров (см. верхнюю точку графика 5), здесь опять происходит рэкёт, поскольку нельзя помешать безудержному стремлению людей извлекать прибыли из своего положения. Деньги, полученные от штрафования, иногда используются на улучшение муниципального хозяйства, но компании, выплачивающие эти штрафы, всегда перелагают эти расходы на потребителей, повышая, сколько возможно, цены на свою продукцию. И все же, в отличие от рэкета на первом линейном участке, этот рэкёт происходит в более благоприятных для населения экологических условиях, в чем и состоит смысл системы штрафования.

Посмотрим, что произойдет при дальнейшем повышении штрафа. Наклон второго линейного участка на рисунке 5 меньше, чем первого – во столько же раз, во сколько уменьшился экологический ущерб (подумайте, почему). Но при слишком высоком уровне штрафа прибыль от него, то есть сумма, уплачиваемая предприятием, становится опять невыносимой, и если оно не находит способа дальше понизить уровень загрязнения, предприятие закрывается. Конечно, штрафующая организация не доведет дело до такого конца, после которого не только прекратятся ее прибыли, но и самое ее существование станет под вопрос. Штраф стабилизируют несколько ниже предельно допустимого для предприятий уровня, предотвращая тем самым их закрытие. Все описанное развитие событий изображено на рисунке 6, где точка 1 соответствует наивысшему уровню "бесполезного" штрафования, точка 2 – наинизшему (неустойчивому) уровню штрафования после очистки, а точка 3 - наивысшему уровню "полезного" штрафования. Следующее затем падение кривой на рисунке 6 означает, что при повышении штрафа сверх уровня 3 загрязнение, а вместе с ним и прибыль уменьшается вследствие закрытия предприятий, до чего у грамотных чиновников, конечно, дело не дойдет.

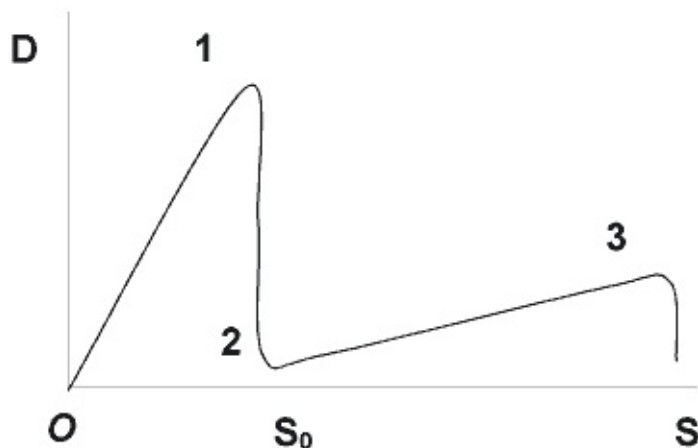


Рис.6

Разумная стратегия предприятий состоит во введении новых мер очистки. Такие меры, хотя и не выведут ситуацию из устойчивой точки 3, могут понизить уровень штрафов в этой точке, и вместе с тем понизить экологический ущерб; тем самым система штрафов окажется эффективной. Таким образом, штрафы в основном могут быть эффективны на стадии, когда очистные сооружения уже есть, но имеются возможности их усовершенствования. Это соответствует переходу от рисунка 6 к рисунку 7, где предприятию выгодно совершенствовать уже существующие очистные сооружения; но такая практика невыгодна штрафующим органам, потому что их прибыль не возрастает. Если эти органы рассчитывают свои действия, ориентируясь на график 6, и назначают высокие штрафы, а предприятие неожиданно находит возможность гибко перестраивать очистные сооружения, так что реальная ситуация для предприятия описывается рисунком 7, то в этом случае штрафы будут действительно эффективны.

Для самого существования устойчивой точки 3 на рисунке 6, или для создания высокоэффективных очистных сооружений нужно, чтобы само производство было эффективным – чем эффективнее производство, тем легче ему, оставаясь рентабельным, поставить очистные сооружения, и тем дальше друг от друга отстоят точки 1 и 3. Если эти точки сильно разнесены, то уровень штрафа в точке 3 настолько высок, что у штрафующих органов не возникает нездоровый соблазн удерживать ситуацию в неэкологичной точке 1, нарочито снижая штрафы посредством более "снисходительного" контроля.

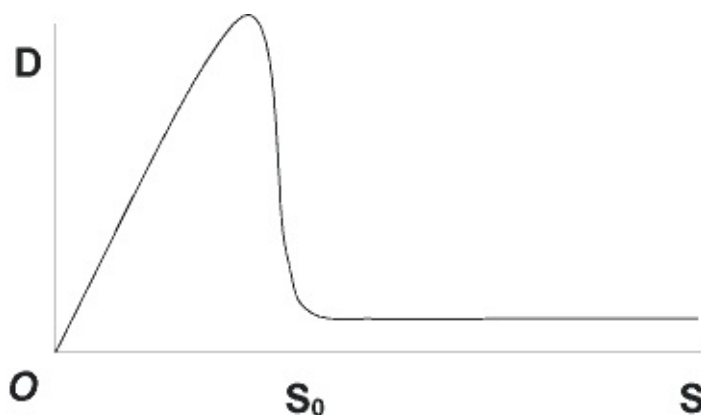


Рис.7

Выбор между стратегиями 1 и 3, осуществляемый штрафующими органами, может зависеть также от вероятной эффективности мер очистки: если очистка малоэффективна, то этим органам выгодно ее введение и работа согласно стратегии 3, если же очистка высокоэффективна, то им выгодно не доводить дело до ее введения и держаться стратегии 1. В наше время стратегия 3, или даже график рисунка 7 иногда применяются в технически развитых странах.

Само собой разумеется, изобретение новых методов очистки, как и все технические изобретения, не всегда зависит от готовности предпринимателей нести на это расходы. Чаще всего важные изобретения делаются не в институтах крупных фирм, устраиваемых для "исследования и развития" ("research and development"), а в небольших частных лабораториях, создаваемых на свой страх и риск одиночками-энтузиастами. Появление настоящих изобретений, в отличие от текущих усовершенствований, нельзя предвидеть, и надо иметь в виду, что и в области экологии не все можно купить за деньги. В подобных случаях финансовый нажим на предприятия не приводит к цели.

Как правило, уровень штрафа не определяется штрафующей организацией, а устанавливается в законодательном порядке. Но частота применения штрафных санкций, как уже было сказано, остается в распоряжении штрафующего органа, а между тем в рассмотренной выше модели важна фактически взимаемая сумма штрафов, пропорциональная частоте санкций. Такой сценарий часто реализуется не вполне осознанно: в штрафующей организации возникает контрольная служба; эта служба встречается с множеством загрязняющих природу предприятий, начинает со всех по очереди брать штрафы (не доводя ни одно из них до введения очистки), пополняет муниципальный бюджет и получает в виде доли этих штрафов приличную зарплату. Не возникает сомнений, что все делается

"правильно", "как делают все" – но вот только экологическая обстановка не улучшается! Между тем, в этих обстоятельствах никак нельзя следовать традиции: очевидно, что в стереотипах массового поведения заложена автоматическая ориентация на личную выгоду.

Реалистическая картина штрафования отражает эту ориентацию. Как только прибыль от налагаемых санкций уменьшается, чиновники начинают наказывать не каждого нарушителя, снижая таким образом вероятность штрафа. Они реже передают дело в суд, не активны в судебных преследованиях, и т.д. Тогда нарушители становятся беспечны, чаще отступают от правил, и число нарушений возрастает: это случайный процесс, где участвует обычно много предприятий, так что чиновники ощущают изменение общей тенденции. После этого они могут снова ужесточить свои санкции, и так далее, причем каждый уровень контроля, то есть реального штрафования, определяет следующий уровень. Последовательные уровни образуют, таким образом, фазовый график, форму которого можно предвидеть (рис.8).

По оси абсцисс здесь отложена сумма взимаемых штрафов K в некоторой фазе "политики" штрафующей организации, по оси ординат – сумма штрафов M в следующей фазе этой "политики". Изменения налагаемых санкций не разделены определенным промежутком времени,

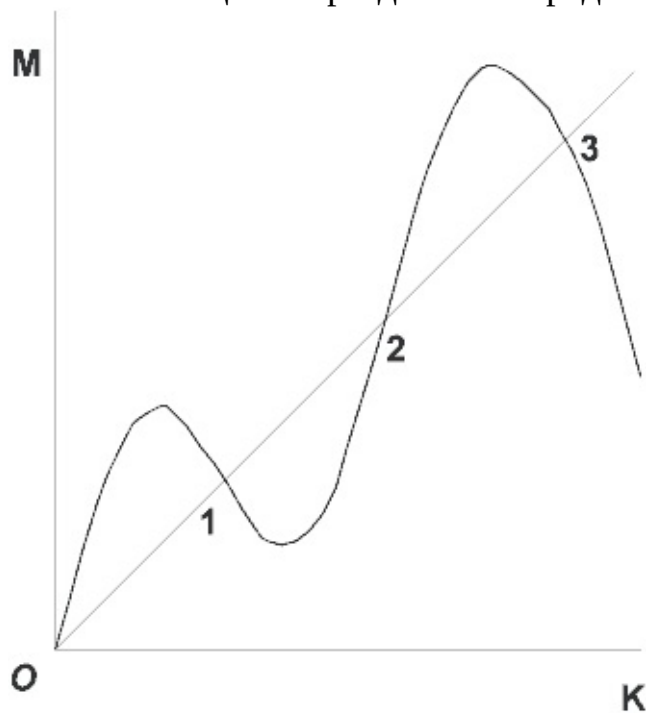


Рис.8

они могут происходить через год или через пять лет, но отчетливо

ощущаются заинтересованными лицами. Реальная политика штрафов зависит, конечно, и от положения в местной политике, сложившегося в данный момент, то есть от соотношения сил между администрацией и предприятиями. Такое соотношение важно и в условиях "правового государства", где существуют не только законы, но и местная политика, и общественное мнение – силы, с которыми всем приходится считаться. В нынешней России правовая сторона мало принимается в расчет, а силовые соотношения часто понимаются в буквальном смысле. Но перейдем к фазовому портрету, о котором идет речь.

На этом портрете есть три стационарных точки; из них точки 1 и 3 могут быть устойчивы, но чаще всего они неустойчивы в смысле квазихаотического поведения, известного нам из главы 1, когда кривая круто пересекает биссектрису. Около этих точек величина штрафа совершает колебания большего или меньшего размаха. Точка 2 неустойчива в обычном смысле, то есть процесс изменения штрафа в ней не задерживается. Эти три точки соответствуют точкам, обозначенным теми же цифрами на рисунке 6. Точки 1 и 3 особенно привлекательны для администрации, которая стремится задержаться возле этих точек, если она достаточно сильна, чтобы навязать предприятиям столь высокий уровень штрафов. В противном случае штрафы уменьшаются до размера, который возможно взимать в данных условиях. Колебания вблизи этих точек иллюстрируются, например, положением с атомной станцией в Армении, которую решено было вначале закрыть, но потом пришлось опять привести в действие из-за нехватки энергии, теперь против нее снова возражают, и т.д. На менее трагическом уровне происходит штрафование водителей автомобилей, хорошо знающих, в какой фазе находится в данное время политика штрафов: милиция никак не заинтересована в том, чтобы в самом деле не было пьяных за рулем, и так же обстоит дело с другими нарушениями. В таких случаях обычно говорят о "кампаниях" борьбы с чем-нибудь – как будто кто-нибудь в самом деле собирается с чем-то бороться.

Для экологии благоприятен участок кривой 2 – 3, где достаточно высокие штрафы в самом деле стимулируют введение и усовершенствование очистных сооружений, о чем уже была речь выше. При обсуждении этих вопросов следует руководствоваться реальными условиями, отраженными в фазовых графиках типа рисунка 8, а не юридическими фикциями.

Подчеркнем, что борьба с экологическим ущербом происходит между двумя крайностями: требованиями собственников предприятий,

настаивающих на низких уровнях штрафов, чтобы выплачивать их как "экологический рэкет" без всякой очистки выбросов, и требованиями "зеленых" фанатиков, которые хотели бы поднять штрафы до разорения предприятий и прекращения промышленности.

Экологическая озабоченность населения была предметом интересного исследования. Оказалось, что она развивается с ухудшением экологического положения весьма закономерно, как это изображено на рисунке 9. На этом рисунке по оси абсцисс отложена величина экологического ущерба U , а по оси ординат – экологическая озабоченность населения T , измерение которой, конечно, представляет

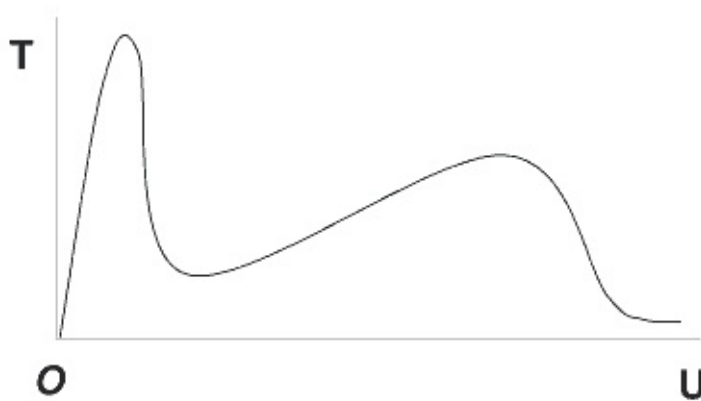


Рис.9

трудность и относится к прикладной социологии. Мы не станем обсуждать здесь, насколько обоснованны оценки социологов, и (в этом единственном случае) примем их заключения на веру. Оказывается, при не очень высоких уровнях экологического ущерба возмущение публики особенно сильно, как это видно из левого пика кривой. Скорее всего, это возмущение связано с началом кампании в средствах массовой информации и с новизной вопроса. Затем интерес к экологическому положению резко убывает, как раз в то время, когда оно ухудшается. Но потом при дальнейшем ухудшении начинают чувствоваться практические последствия ущерба, и второе повышение экологической озабоченности отражает уже реальные интересы населения. В этой фазе процесса принимаются более или менее успешные меры против ущерба, а самые предусмотрительные семьи, не дожидаясь результатов этих мер, покидают зараженные места – как это было после Чернобыля. Наконец, при очень высоком уровне ущерба оставшееся население – обычно значительное большинство первоначального – перестает беспокоиться по поводу экологии, примирившись с неизбежным злом. Такова обычная эволюция

общественного поведения, и последняя фаза этого процесса особенно опасна. [См. М.П.Крылов, Реакция населения городов России на современную экологическую ситуацию. Изв. АН, сер. геогр., N 6, 1995, стр.52.]

По-видимому, в наши дни цели экологических движений отнюдь не сводятся к устранению экологического кризиса, и даже общественное негодование по поводу загрязнения окружающей среды часто направлено не к действительному улучшению экологического положения, а преследует другие, лишь косвенно связанные с ним цели. Очень вероятно, что в экологическом движении находят выражение "экзистенциальные" проблемы современного человека – лишившегося религии, потерявшего веру в общественные идеалы прошлого века и, по существу, не имеющего прочной опоры в жизни. Иногда квазирелигиозный ажиотаж некоторых "зеленых", причем наименее осведомленных в экологии, смыкается с низкосортной пропагандой каких-нибудь экстремистов, "правых" или "левых". Наконец, возникновение "зеленого" движения – как всякого общественного движения – вызывает корыстную заинтересованность беспринципных политиков, эксплуатирующих в своих целях любую озабоченность и любое беспокойство. Они используют "экологические" настроения для создания различных бюрократических учреждений и, в конечном счете, для усиления правительственного контроля над гражданами своей страны.

Связь экономики с экологией

В заключение этой главы мы изложим некоторые соображения о возможном взаимодействии экологии и экономики.

Рассмотрим – в самом общем виде – положение в некоторой географической области, где развивается определенный вид производства. Пусть объем производства в некоторый момент времени равен P (безразлично, в каких единицах его измеряют), а величина выбрасываемых в окружающую среду отходов на единицу произведенной продукции равна ε . Тогда величина всех выбросов от данного вида производства составляет $\varepsilon \cdot P$, причем мы будем следить только за одним веществом, понимая под "выбросом" соответствующую часть отходов. Для рассматриваемого вещества существует предельная величина суммарного выброса, какую может безопасно принять наша область – то есть переработать в безвредные вещества, или содержать в приемлемой для человека концентрации; назовем эту величину экологической емкостью области по отношению к рассматриваемому веществу и обозначим ее через A . Очевидно, что для экологической допустимости производства должно соблюдаться неравенство

$$\varepsilon \cdot P < A$$

Если произведение $\varepsilon \cdot P$ превзойдет A , то производство можно уподобить паразиту, убившему своего хозяина: в отравленной области люди не смогут жить, и предприятия придется закрыть. Конечно, "умный" паразит никогда не доведет дело до такого конца; но тогда можно подумать, что возможности технического прогресса на этом кончаются. К счастью, это неверно, потому что в действительности все рассматриваемые величины *переменны* – зависят от времени и могут меняться. Прежде всего, может меняться доля отходов в результате совершенствования методов очистки: об этом уже была речь. Она становится функцией времени t , то есть в каждый момент времени будет соответствующее ему значение $\varepsilon(t)$. Но можно также *увеличивать экологическую емкость* области, так что A становится функцией времени $A(t)$. Тогда и объем производства P может меняться со временем, если только удовлетворяется неравенство

$$\varepsilon(t)P(t) < A(t)$$

Таким образом, со временем меняются все три величины ε , P и A , но таким образом, чтобы это основное неравенство, охраняющее экологическую безопасность нашей области, никогда не нарушалось.

Отсюда получаем ограничение объема производства в данный момент:

$$P(T) < \frac{A(t)}{\varepsilon(t)}$$

При всей простоте этих соображений, они преодолевают "экологический фатализм". В самом деле, долю отходов можно пытаться уменьшить до нуля, создав замкнутый цикл производства, в котором вообще никакие отходы не выделяются в окружающую среду. Но если это идеальное решение не получается, можно заняться экологической емкостью $A(t)$, чему уже есть поучительные примеры. Особенно важен пример Голландии, где была когда-то крайне неблагоприятная для человека среда обитания – батавские болота, которые даже не вызывали интереса у завоевателей. Емкость этой области для всех видов производства была тогда очень мала. Голландцы, заинтересованные в те времена прежде всего в сельском хозяйстве, многовековым трудом совершенно изменили почву и воды своей страны, и уже в наши дни продолжают эту работу, применяя современные технические средства. Значительная часть их страны была отвоевана у моря, экологическая емкость которого сводилась к рыбной ловле и мореплаванию.

Другой интересный пример представляет история нашей северной столицы – Петербурга. Вначале в этом месте были почти необитаемые болота, о чем рассказывает великолепное начало пушкинской поэмы "Медный всадник". По указу Петра первого на месте будущего города начали строить не только здания учреждений, но и частные дома, и в особенности дворцы вельмож и должностных лиц, которые прямо обязывались жить в столице и воздвигать в ней свои апартаменты. Тем самым образовался слой людей, прямо заинтересованных в экологическом благополучии Петербурга и его окрестностей, где у них были летние резиденции. Эти влиятельные люди не хотели жить в нездоровом месте и заботились о стоимости своих владений. И поскольку они могли контролировать деятельность государственной администрации, то даже в трудных политических условиях восемнадцатого века Петербург осушался каналами, по возможности охранялся от наводнений, насаждались и выращивались плохо растущие здесь деревья, и т.д. В имениях этих господ выращивали сосны просто невероятного для этих мест могущества, которые можно видеть кое-где и в наши дни. Наконец, для пропитания Петербурга стали разводить огороды, для чего понадобилось улучшение пригородных земель. Таким образом, экологическая емкость всей области, примыкающей к столице, намного возросла.

Еще один пример – осушение болот Аджарии, древней Колхиды, где в

конце прошлого века почти нигде было жить, и где русские инженеры-мелиораторы совершили в меньшем масштабе подвиг, сравнимый с созданием Голландии. Это делалось для русских чиновников, которых правительство наделяло землей в солнечной, но неудобной для жизни стране.

Наконец, уже в наше время, с применением новейшей техники увеличивается экологическая емкость целой страны – Израиля. Вековые изменения климата превратили эту землю, плодородную в древности, в скалистую пустыню. Главная проблема здесь – недостаток воды. Раздел имеющихся водных ресурсов превратился даже в политическую проблему, которую израильтяне не хотели решать традиционным путем – применением силы. Вместо этого они применяют удивительное открытие – капельное земледелие, при котором вода доставляется по пластмассовым трубкам к каждому отдельному растению, а не испаряется со всей орошаемой площади, как это было испокон веку.

Производство, о котором идет речь в предыдущих примерах, – это преимущественно сельское хозяйство, а вещество, которого слишком много или слишком мало, это вода. Но решения, примененные в такой исторически более старой ситуации, указывают путь и к увеличению емкости для промышленных отходов. Например, ничего не делается для изучения деструкции этих отходов в почвах и поддержания деструктивной способности почв по отношению к различным веществам: в промышленных городах это прежде всего касается тяжелых металлов, уже накопившихся там до концентраций, в сотни раз превышающих п.д.к. Между тем, простейший метод их удаления известен и даже применяется в некоторых местах: это посадка вокруг предприятий деревьев определенных видов, поглощающих как раз тяжелые металлы. Потом эти металлы переходят в листья, опадающие на землю, и надо своевременно вывозить сухие листья, чтобы не дать металлам перейти в почву. Конечно, при этом надо заботиться о захоронении листьев в отдаленном месте, или об их промышленном использовании. Это лишь один пример вдумчивого отношения к проблеме отходов, когда можно сохранить экологическую емкость местности ценой сравнительно небольших затрат. На рисунке 10 мы попытались символически изобразить параллельное прогрессивное развитие экономики и экологии, которые вовсе не обречены быть врагами. Нет причин свертывать производство и отказываться от техники, к чему призывают нас "зеленые" фанатики. Но надо помнить, что экономика отдельно от экологии существовать не может, а развивать их надо вместе.

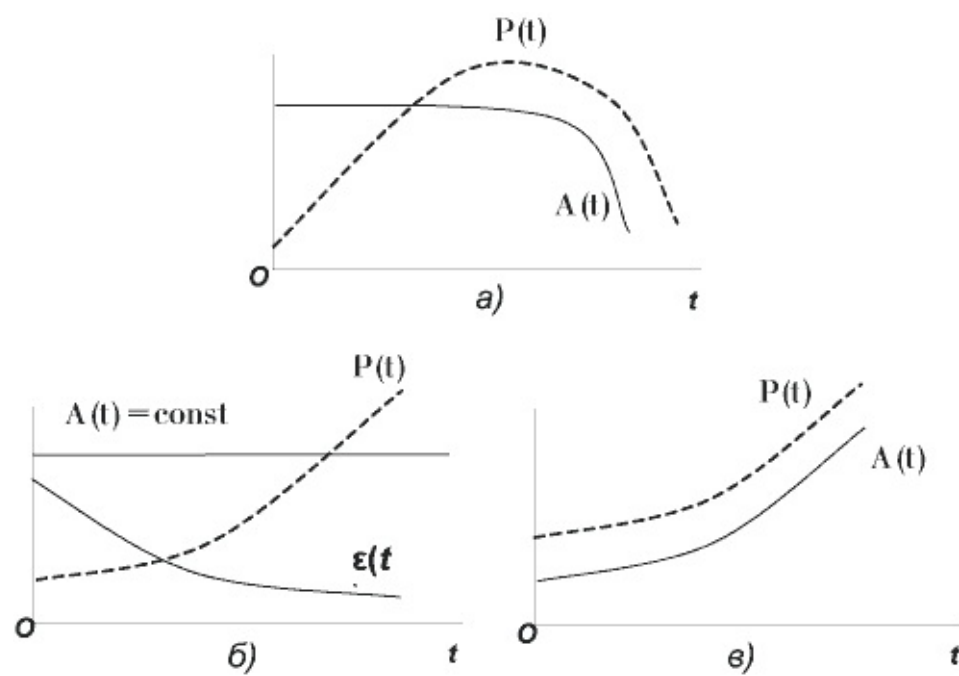


Рис.10

Глава 4. Глобальная экология и взаимодействие биосферы с техносферой

Экология и экономика

Хорошо известны локальные экологические проблемы, возникающие в той или иной местности в связи с определенным производством. Но глобальные экологические проблемы, то есть проблемы, касающиеся всей поверхности Земли, вместе с атмосферой и верхним слоем земной коры – проблемы, важные для всего человечества – до последнего времени вовсе не рассматривались. Люди вели себя так, как будто "дикая" природа – это бесконечно большая в пространстве и во времени среда, способная доставить человеку все нужное для его растущей цивилизации, среда, на фоне которой эта цивилизация пренебрежимо мала. При этом люди бессознательно предполагали, будто природа обладает неограниченной способностью восстанавливать свое первоначальное равновесие, какие бы раны ей ни наносила цивилизация.

Но в действительности, как уже было сказано, еще в древности неумеренная эксплуатация пастбищ превратила в пустыню обширную область Северной Африки – Сахару, ранее бывшую цветущей саванной, а одичавшие домашние козы уничтожили покрывавшие Грецию леса. Поскольку пустыни и голые скалы встречались и до того, независимо от деятельности человека, люди не отдавали себе отчета в своей роли разрушителей природы. Лишь промышленная революция, вызвавшая изменения иного рода, не встречавшиеся до вмешательства человека, побудила людей заняться этим вопросом, но лишь с деловой точки зрения: когда в Англии в восемнадцатом веке перевели леса, доставляя древесный уголь развивавшейся металлургии, люди додумались применить для этого каменный уголь, и леса оставили в покое. Но в наше время целые области, такие, как Рур в Германии или Кузбасс в России, и даже целые страны – например, Япония – оказались под угрозой превратиться в непригодные для жизни "техногенные" пустыни. Это начало привлекать внимание общественности, и малоудачные попытки исправить ущерб постепенно привели к пониманию, что Земля со всей совокупностью населяющих ее живых организмов – все же конечная система в практическом смысле этого слова, то есть влияние технической цивилизации на эту систему уже нельзя сбрасывать со счета.

Более того, промышленный выброс в атмосферу углекислого газа, неизбежно ведущий к повышению температуры на всей планете, предполагаемая опасность промышленного разрушения озонового слоя,

защищающего нас от ультрафиолетового излучения, а также ряд других, менее известных явлений подрывает представление об обратимости всех процессов, навязанных природе человеком.

Существует два подхода к глобальным экологическим проблемам. Первый подход – по существу, пессимистический – считает невозможным предвидение глобальных экологических процессов, вызванных человеческой техникой, и рекомендует задержать ее развитие. Тогда, как предполагают сторонники этой точки зрения, природа сама исцелит нанесенные ей раны. Таким образом, пессимизм в отношении возможностей человеческого разума соединяется в этом воззрении с наивным оптимизмом в отношении саморегулирующих сил природы – оптимизмом, который привел уже, как мы увидим в главе 11, к провалу важного и дорогостоящего эксперимента. Никоем образом не очевидно, что Земля вернется к своему первоначальному состоянию, даже если полностью прекратить всякую техническую деятельность. Вера в неограниченную силу Земли характерна для некоторых "зеленых", по существу обожествляющих Землю, заменяя этим свою утраченную религию.

Другой подход – его можно назвать научным – находится в самом начале своего развития. Он исходит из того, что при неизбежном дальнейшем росте промышленной цивилизации нельзя рассчитывать на спасительные "регулирующие" силы природы, а надо разрабатывать высокотехнические системы жизнеобеспечения человека. Такие системы, необходимые для космических полетов, в небольших масштабах уже существуют и рассматриваются в главе 11.

Аналогии с уже рассмотренными типами экологических катастроф (глава 1) и приемы анализа динамики, выработанные там на примере всплеск размножения, до некоторой степени применимы к анализу взаимодействия цивилизации с биосферой.

В этой главе мы рассмотрим возрастание потребления энергии и некоторые его экологические следствия, в особенности "парниковый эффект". Далее, мы оценим различные способы производства энергии с экологической точки зрения. Наконец, мы опишем рост населения Земли и тенденцию к его стабилизации, проявляющуюся в последние десятилетия.

Энергопотребление

"Технический прогресс", последствия которого нас интересуют, не измеряется численностью населения. В эпоху истребления мамонтов этот прогресс, состоявший в усовершенствовании методов охоты, оказался сравнительно безобидным, приведя лишь к исчезновению одного вида, после чего население Земли, по-видимому, резко упало. В наше время плотно населенные сельскохозяйственные страны только начинают вводить новую технику, а относительно менее населенные страны ее давно уже применяют. Точно так же, "прогресс" нельзя измерять количеством потребляемой пищи: поскольку физиологические потребности человека неизменны, количество нужной ему пищи вряд ли меняется, да и состав ее, в смысле содержания различных веществ, остается тем же, так что потребление пищи в общем пропорционально численности населения. Численностью населения Земли мы дальше займемся в этой главе: она стимулирует и в то же время затрудняет технический прогресс, но сама по себе с ним прямо не связана.

Главная мера технического прогресса – это потребление энергии. Энергопотреблением человечества называется полное количество энергии, производимое (и тем самым потребляемое) на Земле в течение года. При этом мы не принимаем во внимание потери энергии вследствие несовершенства технических устройств (например, при передаче тока по проводам, когда значительная часть энергии теряется в виде бесполезно выделяемого тепла). Это лишь пример расточительности в использовании энергии. Поскольку экологически вредные последствия имеет главным образом производство энергии, нас не интересует здесь, как она используется. Поэтому мы отождествляем производство энергии с ее потреблением, считая все потери нерациональным способом потребления; это позволяет нам избежать совсем уж неуклюжего термина "энергопроизводство".

Начнем с данных об энергопотреблении в течение истории, в особенности усилившемся вследствие "технической революции", то есть после 1750-го года. В древнейшие времена потребление энергии сводилось к сжиганию дерева и другой биомассы, а количество этой энергии было, по-видимому, пропорционально населению. Мы не пытались оценить энергопотребление в "эпоху костров". Далее, в "эпоху сельского хозяйства" потребление энергии – тоже в виде биомассы – пропорциональноросло

вместе с населением, и можно считать, что до 1700 года на голову населения приходилась примерно одинаковая энергия (см. рис.1б). Начиная с 1700-го года имеются более или менее достоверные данные о потреблении ископаемых топлив и (в дальнейшем) "первичного электричества", получаемого другими способами. В таблице 1 эти данные, выраженные в миллионах тонн эквивалентного нефтяного топлива, приведены в первом столбце. Эти данные взяты из справочников ООН [2]. Во втором столбце указаны предположительные количества энергии, полученные из биомассы, по оценкам В. Смила [3]. Эти данные по необходимости неточны, поскольку потребление дров и других топлив в крестьянских хозяйствах почти не учитывалось статистикой; указываются их средние значения, а серая полоса на рисунке 1а изображает возможный разброс. Соответствующий график мы

Потребление энергии в миллионах тонн условного нефтяного эквивалента.

год	промышленное производство энергии	энергия биомассы
1700	4,4	240
1750	13,1	300
1800	31,0	340
1850	64,6	360
1900	427	450
1950	1550	690
2000	10000	690

Табл.1

заимствуем из книги [3]. На этом графике (черная линия) применена "логарифмическая шкала", позволяющая изобразить быстро растущую функцию на небольшом пространстве: по вертикали отложены *логарифмы* величины энергопотребления E . Таким образом, ордината этого графика y равна $\lg E$ (десятичному логарифму E), в некотором выбранном для оси ординат масштабе. Но слева указаны соответствующие значения самой величины E . Точность этого графика не очень велика, и в течение каждых пятидесяти лет он изображается прямолинейным отрезком: $y = kx + a$, где коэффициенты k и a различны для разных отрезков. Крутизна этих отрезков k измеряет быстроту, с которой росло потребление энергии в соответствующие пятидесятилетия.

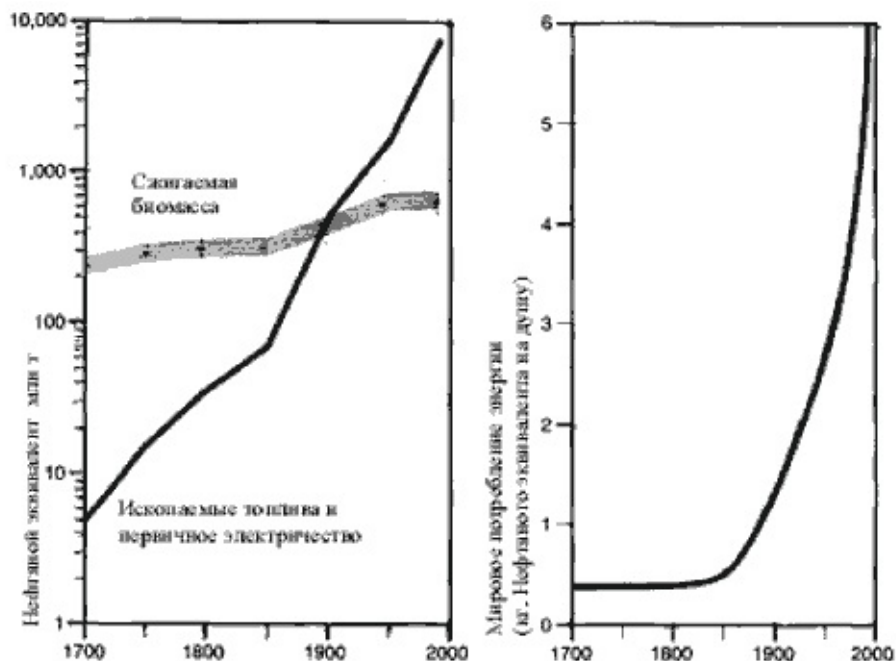


Рис. 1а 1б

Величина энергопотребления $E = 10^y = 10^{kx+a} = 10^a + 10^{kx}$. Это экспоненциальная зависимость, причем крутизна экспоненты тем выше, чем больше k . Как видно из рисунка 1а, периодами особенно быстрого роста энергопотребления были 1850 – 1900 годы (развитие техники, введение электричества) и 1950 – 2000 годы (послевоенное развитие). В промежутке 1900 – 1950 годов рост энергопотребления замедлился: было две мировых войны. На рисунке 1б, где изображен (без логарифмического масштаба) рост энергопотребления на душу населения, темп этого процесса виден особенно наглядно.

Серая полоса на рисунке 1а показывает предположительное потребление энергии биомассы. Как видно из графика, энергия от ископаемых топлив и других технических источников превзошла энергию биомассы лишь около 1900 года, но в настоящее время на долю биомассы приходится не больше 6% потребляемой энергии.

В последние десятилетия – примерно с 1970 года – рост энергопотребления замедлился. Это не видно на грубом графике рисунка 1а, но рисунок 2 (по данным Международного энергетического ежегодника [4]) ясно показывает, что экспоненциальный рост превратился в линейный. Это явление,

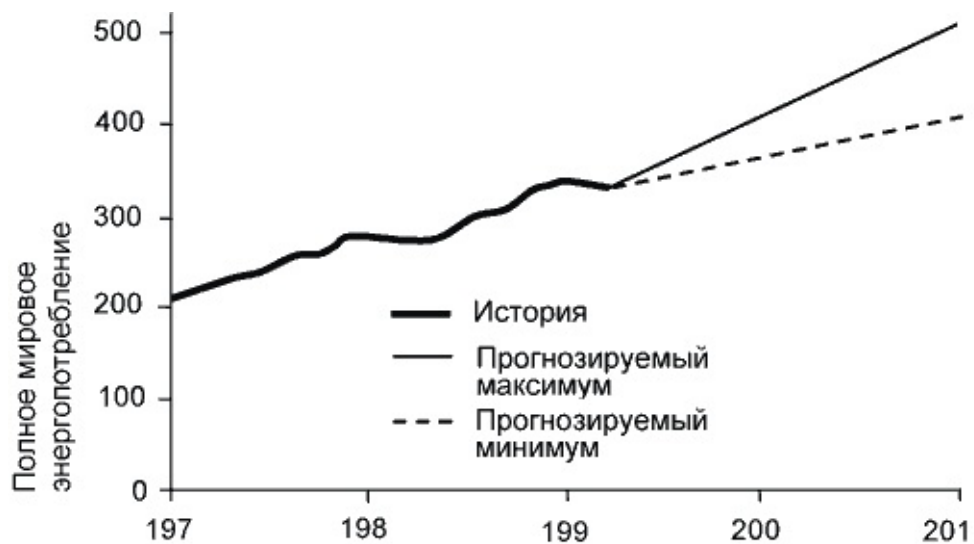


Рис.2

о котором еще будет речь, свидетельствует о некотором "насыщении" энергией экономически развитых стран, потребляющих бо'льшую часть энергии. Впрочем, так называемые "развивающиеся" страны, пока еще потребляющие небольшую часть мировой энергии (рис.3а), несомненно будут подражать "западному" образу жизни, что может привести к новому скачку в потреблении энергии. Рисунок 3 заимствован из [3].

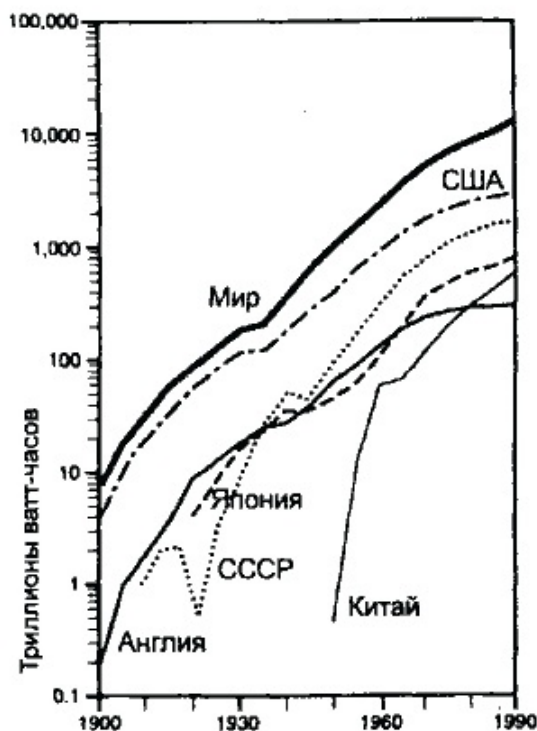


Рис. 3а

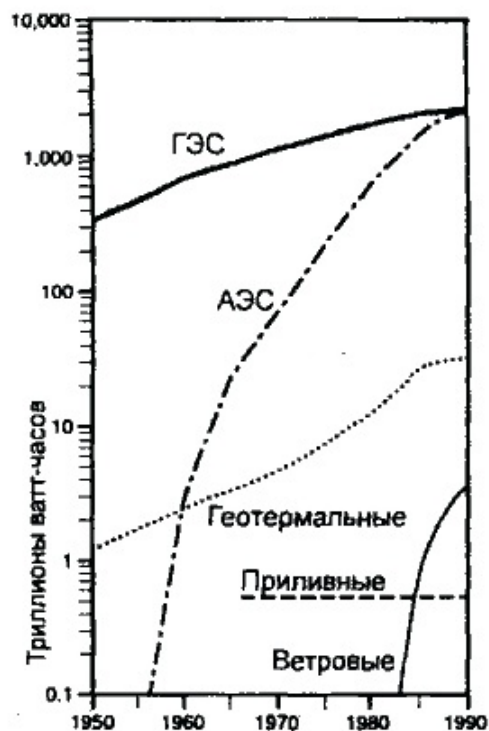


Рис. 3б

На рисунке 3б изображена роль "неуглеродных" источников энергии, вызывающих теперь особый интерес, поскольку они не загрязняют атмосферу своими выбросами. К сожалению, важнейшие из них – гидроэнергия и атомная энергия – дают лишь пор одной десятой мирового потребления энергии, а остальные источники (геотермальная энергия – то есть тепло горячих подземных вод – , энергия ветра и приливов) имеют пока мало значения. Солнечная энергия вообще не изображена на этом графике, поскольку она почти не применяется для производства электрического тока, а служит лишь для отопления, нагрева воды и т.п., да и то в небольших размерах. Между тем, как мы увидим, именно солнечной энергии принадлежит будущее!

Теперь попытаемся составить себе представление о динамике энергопотребления в прошлом (хотя в прошлом не было статистики, и наши данные по необходимости приблизительны), в последние столетия, по имеющимся статистическим данным, и в будущем, о котором можно строить правдоподобные гипотезы. При этом мы будем изображать лишь *качественные* картины процесса, так что наши графики не претендуют на точное описание даже в те периоды, когда имеются статистические данные. В частности, мы не соблюдаем пропорций, и разные части графиков могут

быть растянуты или сжаты.

Условимся измерять энергопотребление в определенный день года, как полную энергию, произведенную за истекший год; будем обозначать эту величину через K . Через год получится новое значение энергопотребления, которое мы обозначим через M . Два последовательных измерения, дающие пару чисел (K, M) , напоминают "стандартное наблюдение" главы 1, и можно попытаться применить здесь ту же технику фазовых портретов. Так как потребление энергии в значительной степени характеризует достигнутый уровень производства, который, в свою очередь, определяет его будущие потребности в энергии, то можно с достаточной точностью считать M зависящим только от K (так же, как численность популяции в следующем году определяется ее численностью в текущем году). Иначе говоря, мы предполагаем, что M является некоторой функцией от K : $M = F(K)$. Вообще говоря, эта функция – возрастающая, поскольку люди потребляют все больше энергии, во всяком случае в течение Новой истории. Но возможен и обратный процесс, когда потребление энергии падает: вероятно, так обстояло дело в начале средневековья, при общем упадке культуры, а может быть и в Англии в начале восемнадцатого века, по совсем другой причине: развитие металлургии настолько увеличило спрос на древесный уголь, что до введения каменного угля потребление энергии могло упасть. Статистика возникла недавно, и эти предположения трудно проверить.

Заметим, что динамика энергопотребления представляет серьезную трудность, отличающую ее от динамики животных популяций. Дело в том, что непрерывный рост энергопотребления не предъявляет нам повторяющихся величин, и поэтому каждая измеренная пара (K, M) наблюдается только один раз. Предсказательная сила фазовых портретов основывается как раз на повторяемости ситуаций: в случаях, рассмотренных в главе 1, как только появляется некоторое значение K , мы можем быть уверены, что в следующем году получится определенное, предсказываемое фазовым портретом значение M . Для результатов деятельности человека это не обязательно: никакой период человеческой истории даже приблизительно не повторяется. И все же можно думать, что энергетика в некоторой степени обладает собственной динамикой, если просуммировать ее потребление по всей Земле, чтобы исключить местные отклонения. Простейший фазовый портрет соответствует использованию единственного вида энергии, например, энергии сжигания дерева. Наши предки долго жгли костры, а затем топили печи, причем количество потребляемой энергии постепенно росло до точки 1 на рисунке 4, изображающем фазовый портрет энергопотребления в ту эпоху. Точка 1 –

устойчивая стационарная точка, абсцисса (и ордината) которой соответствуют потреблению энергии в течение очень длительных периодов, с небольшими случайными колебаниями вокруг стационарного значения и возвращением к этому значению. Медленный рост популяции означал, конечно, подъем фазового портрета, с сохранением его формы, поскольку характер потребностей и способ получения энергии оставались неизменными. При этом абсцисса точки 1 медленно возрастала, то есть повышалось потребление энергии. Но поскольку лесные ресурсы были тогда несоизмеримо велики по сравнению с нуждами людей, экологическое равновесие могло сохраняться в течение тысячелетий.

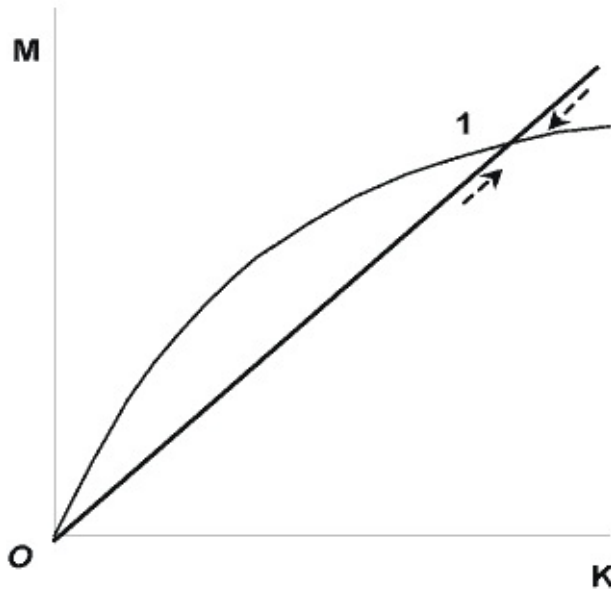


Рис.4

С точки зрения экологии дрова – превосходное топливо, если только вырубка леса компенсируется его естественным приростом или лесопосадками. Конечно, при сжигании дров выделяется углекислый газ, с вредными свойствами которого мы еще встретимся, но если взамен срубленных деревьев вырастает столько же новых, то они поглощают ровно столько углерода, сколько его было в сожженных деревьях, и таким образом связывают его, так что содержание углекислого газа в атмосфере не возрастает. Другие вещества, выделяющиеся при сжигании дров, не опасны для человека и для природы. Таким образом, дрова были идеальным топливом, пока промышленные надобности не привели к резкому увеличению потребности в древесине. В одном случае – в Англии восемнадцатого века – мы достоверно знаем, как это произошло. В металлургии тогда применяли древесный уголь, и быстрое развитие этого производства привело к столь интенсивной вырубке леса, что дерево стало

дорожать, а естественный прирост леса не мог больше восполнить нанесенный лесам ущерб. Это и было первое нарушение экологического равновесия, несомненно вызванное промышленной деятельностью человека. Впрочем, в то время людей беспокоил только недостаток древесного угля для выплавки металла, и вскоре его заменили ископаемым каменным углем, изобилие которого так сильно способствовало промышленной революции в этой стране.

Если бы не это изобретение (впрочем, сделанное китайцами за много столетий до того), фазовый портрет энергетики остался бы таким же, как на рисунке 4, то есть потребление энергии все время возвращалось бы в точку 1, и развитие металлургии остановилось бы.

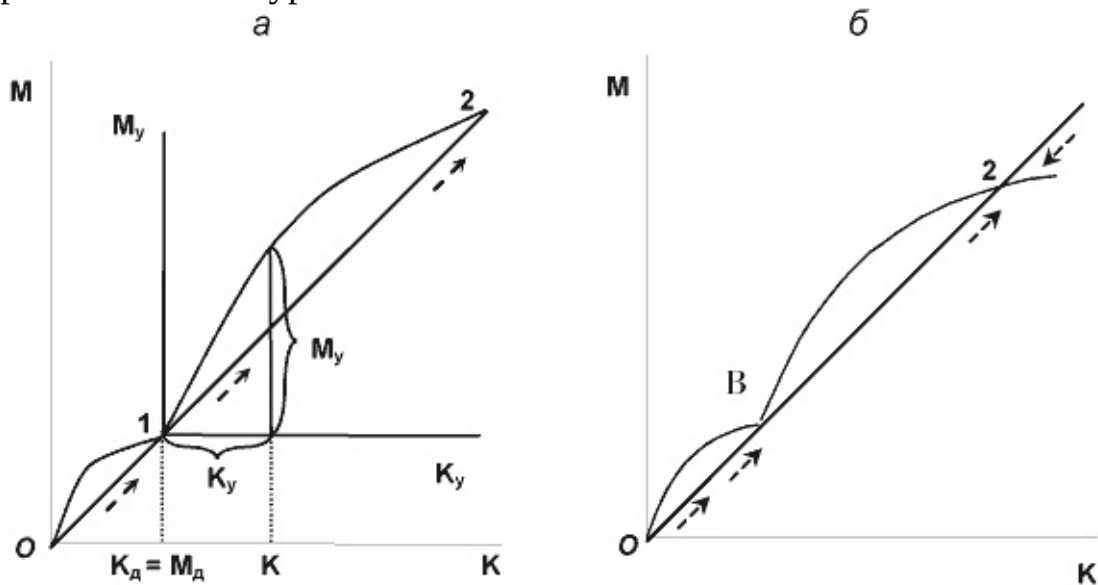


Рис.5а, Рис.5б

Если предположить, что стационарное потребление дерева уже установилось, когда был введен в употребление каменный уголь, то справа от точки 1 (рис.5а) к стационарному значению древесной энергии K_d прибавляется значение угольной энергии K_u , так что полная величина потребляемой энергии $K = K_d + K_u$ (см. рис.5а). На следующий год эта величина будет равна $M = M_d + M_u$, где M_u получается из K_u с помощью фазового портрета потребления угля, изображенного на том же рисунке, со сдвигом начала координат в точку (1,1). Мы предполагаем, что характер этого фазового портрета тот же, что и в случае дерева, но соответствующая дуга над биссектрисой намного больше, так как запасы угля намного больше, чем дерева, и потребление его до установления равновесия возрастет несравненно больше; размеры рисунка вынуждают нас исказить

соотношение между дугами. Теперь очевидно, что обе дуги вместе дают зависимость величины $M = M_d + M_u$ от $K = K_d + K_u$, то есть фазовый график *полной* потребляемой энергии. Этот график получается соединением двух дуг - "древесной" и "угольной" – под углом друг к другу в точке 1.

Более вероятно, что уголь был введен еще ранее установления стационарного потребления дерева, под давлением выросшей потребности в топливе. В этом случае резкое изменение в потреблении энергии проявилось в виде угловой точки на фазовой кривой (рис.5б), но эта кривая не опустилась до биссектрисы, то есть потребление энергии возросло *непрерывно*. Есть основания полагать, что в наши дни потребление угля также стабилизировалось, но рисунок 5б, изображающий совместное использование двух источников энергии (дерево и уголь), все же не соответствует действительности, поскольку уже во второй половине прошлого века приступили к эксплуатации природных углеводородов – нефти и газа. На рисунке 6 изображен правдоподобный фазовый портрет *общего* потребления энергии, где третья дуга соответствует нефти и газу, а четвертая – атомной энергии. Введение всех этих видов энергии произошло уже в эпоху статистики и, как мы знаем, каждый раз до стабилизации предыдущего вида энергии. Напомним еще раз, что на наших графиках передана лишь качественная сторона процессов, но количественные соотношения не соблюдены.

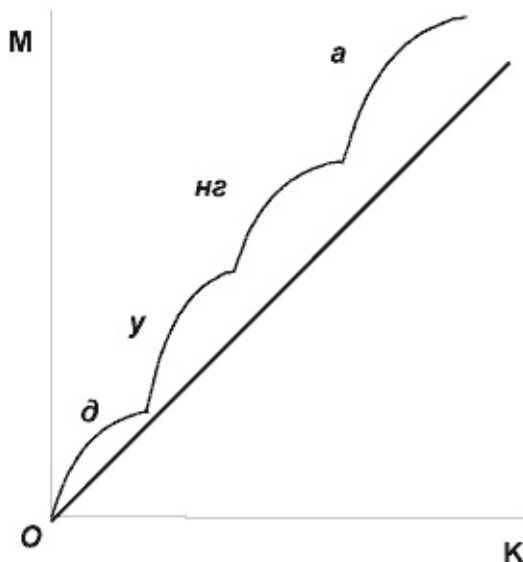


Рис.6

Можно представить себе, что следующую дугу составит солнечная энергия, прямое превращение которой в электрическую, пока слишком

дорогое, является важнейшей задачей современной техники, или термоядерная энергия, давно обещанная физиками. Мы оставили здесь в стороне менее важные источники энергии, мало влияющие на общее энергопотребление (гидроэнергия, энергия ветра, приливов, и т.д.).

Напомним еще раз, что, в отличие от главы 1, мы рассматриваем теперь деятельность очень своеобразного вида, каким является человек. Поскольку потребление энергии – всех ее видов вместе, старых и новых – непрерывно возрастает, то величина энергопотребления, достигнутая в текущем году, не повторяется, так что мы имеем для этой величины K единственный "стандартный эксперимент" в смысле главы 1. Но если бы эта величина повторилась, вследствие какой-нибудь катастрофы, приостановившей развитие техники, то прежнее наблюдение значения M на следующий год после K вряд ли имело бы достоверную предсказательную силу. В отличие от животных, человек никогда не возвращается к однажды пережитой ситуации; если даже какая-нибудь характеристика его жизни повторяется, то человек уже другой, с другими средствами и привычками. Например, после второй мировой войны наиболее разоренные страны, такие, как Германия и Япония, вернулись к давно пройденным ими значениям энергопотребления, но дальнейшее развитие энергетики у них вовсе не повторилось. Можно думать, что для глобальной величины энергопотребления дело обстоит лучше, но, конечно, фазовые портреты имеют лишь ориентировочное значение, и предсказательную силу их не следует переоценивать. Напомним, что в начале нашего века, когда опасались истощения запасов угля, многие принимали на веру картину, подобную рисунку 5б, предусматривавшую падение энергопотребления при исчерпании угля. Но его запасов, как обнаружилось, хватит на тысячелетия, а затем были открыты более выгодные источники энергии, так что теперь мы полагаемся на график рисунка 6. Техническому прогрессу угрожает не дефицит энергии: его ограничивают экологические трудности.

Заметим все же, что фазовые портреты – даже самый богатый энергией фазовый портрет рисунка 6 – обнаруживают определенную тенденцию энергопотребления: каждая дуга такого портрета, как правило, выпукла, что означает замедление роста. Такое замедление, как и в случае популяций, объясняется ограниченностью ресурсов и условий жизни. В случае энергии, запасы ископаемых топлив могут быть еще очень велики, но добыча их стоит все дороже, что стимулирует экономное использование энергии. С другой стороны, экологические условия ограничивают рост промышленности, во всяком случае, "тяжелой" промышленности,

использующей много энергии. В будущем можно предвидеть поэтому стабилизацию потребления энергии, подобно тому, как теперь стабилизируется население Земли – о чем еще будет речь. Как мы видели выше (рис.2), начиная с семидесятых годов энергопотребление растет уже по линейному закону, вместо экспоненциального закона, страшившего предыдущие поколения. Конечно, этот процесс стабилизации может быть задержан ростом потребления энергии в "развивающихся" странах.

Парниковый эффект

Техническая деятельность человека, и прежде всего энергетика, основанная на сжигании углеродных топлив, изменяет состав земной атмосферы. Это изменение неизбежно приводит к изменению климата, которое уже наблюдается и может быть предсказано на будущее, если наша техника будет лишь количественно умножаться, оставаясь на нынешнем уровне развития.

Атмосфера представляет в своем естественном виде смесь газов, почти неизменную по составу, если не считать водяного пара, составляющего, в зависимости от температуры, от 0 до 4% объема воздуха. Сухой воздух содержит 78,09% азота, 20,95% кислорода, 0,93% аргона, 0,036% углекислого газа и очень небольшие количества других инертных газов, водорода, озона, метана и окиси азота.

Энергетический баланс Земли. Полная энергия солнечного излучения хорошо известна. Известно также, какая часть ее задерживается земной атмосферой, рассеивающей это излучение: лишь около половины его достигает поверхности Земли. Мощность излучения, падающего на эту поверхность, точно измерена. В среднем на одного жителя Земли в наше время приходится около 50000 киловатт солнечной энергии. Для сравнения заметим, что мощность всей нашей промышленности составляет меньше одного киловатта на человека, так что опасность *прямого* перегрева от технической деятельности нереальна. Можно было бы подумать, что эта деятельность слишком мала по сравнению с космическими процессами, чтобы внушать серьезные опасения. Как мы увидим дальше, для таких опасений есть причины.

Земля (без атмосферы) получает излучение в широком диапазоне частот. Частота излучения ν обратно пропорциональна его длине волны λ , так что $\lambda\nu=c$, где c – скорость света. Лучи самых высоких частот или, что то же, самые коротковолновые – это гамма-лучи, рентгеновские и ультрафиолетовые лучи. Они составляют небольшую часть солнечного излучения и в основном задерживаются верхними слоями атмосферы, в особенности слоем озона – к счастью для нас, потому что эти лучи опасны для жизни. Около половины солнечной энергии, достигающей поверхности Земли, относится к "видимому свету", то есть воспринимается нашим зрением; наибольшая интенсивность этого излучения приходится на волны длиной около 0,5 микрона, соответствующие желтому цвету (поэтому

Солнце считается у астрономов "желтой звездой").

Другая половина поступающего на Землю излучения – это невидимые длинноволновые лучи, так называемое инфракрасное или тепловое излучение. Мы можем ощутить такое излучение, приблизив руку к радиатору водяного отопления.

Земля, в свою очередь, излучает в космос, но только инфракрасные лучи, длиной от 3 до 30 микронов. Видимого света Земля не излучает: она "не светится". Поскольку температура Земли (на ее излучающей поверхности) меняется очень медленно, то, по законам термодинамики, Земля должна находиться в "термодинамическом равновесии" с окружающей средой, то есть излучает столько же энергии, сколько поглощает. Так как величина падающего на Землю излучения известна, то известно и ее собственное излучение, которое мы обозначим через W .

Энергия, излучаемая телом, конечно, зависит от его температуры. Например, горячая металлическая крышка плиты излучает тем больше, чем сильнее она нагрета. Оказывается, существует важный класс тел, излучение которых вполне определенным образом зависит от их температуры: это так называемые "абсолютно черные тела". Абсолютно черным называется тело, поглощающее все падающее на него излучение. Термин этот объясняется тем, что тела, окрашенные в черный цвет, поглощают большую часть падающего излучения. Зеркала, напротив, почти не поглощают излучения, а отражают его. Звезды и планеты, как доказано в астрофизике, с большой точностью можно считать абсолютно черными телами. Конечно, они светятся "отраженным светом", вследствие чего Луну и Землю можно видеть из космоса, но доля отраженного излучения очень мала. Для вычисления баланса энергии Землю можно считать, с большой точностью, абсолютно черным телом. Как уже было сказано, при постоянной температуре Земля излучает столько же энергии, сколько поглощает – хотя и в другом спектре излучения, только инфракрасном.

Оказывается, для любого абсолютно черного тела полная мощность его излучения W определяется температурой T его излучающей поверхности. Температура T измеряется в термодинамике по шкале Кельвина, в которой величина градуса та же, что в шкале Цельсия, но началом отсчета служит "абсолютный нуль" – наименьшая возможная в природе температура, равная -273° Цельсия. Тогда при абсолютном нуле температура Кельвина $T = 0$, в точке таяния льда $T = 274^{\circ}$, в точке кипения воды $T = 373^{\circ}$. Средняя температура земной поверхности составляет в наше время около $+20^{\circ}$, то есть, по Кельвину, $T = 300^{\circ}$. Для любого абсолютно черного тела полная мощность его излучения W связана с температурой его

излучающей поверхности T законом Стефана – Больцмана:

$$W = CT^4,$$

где C – "мировая постоянная", одна и та же для всех таких тел, значение которой нас здесь не интересует.

Этот закон, установленный опытами Стефана, был затем выведен Больцманом из основных принципов термодинамики и является одним из самых важных законов природы. Он постоянно применяется в астрофизике, и нет никаких сомнений в его применимости к Земле. (Напомним, что имеется в виду Земля без атмосферы, а не бо'льшая система, состоящая из Земли вместе с ее атмосферой). Поясним на примере, какие выводы следуют из закона Стефана – Больцмана в применении к Земле. Предположим, что Земля перешла в другое состояние, с температурой поверхности $T' = T + \Delta T$; спрашивается, как изменится мощность ее излучения W ? Или, обратно, пусть известно, насколько изменилось излучение W ; спрашивается, как изменится температура? На эти вопросы можно дать однозначный и совершенно бесспорный ответ. При температуре T' излучаемая мощность W' равна

$$W' = CT'^4,$$

с тем же универсальным множителем C . Деля это соотношение на предыдущее, получаем

$$\frac{W'}{W} = \left(\frac{T'}{T} \right)^4$$

или, полагая $T' = T + \Delta T$, $W' = W + \Delta W$,

$$1 + \frac{\Delta W}{W} = \left(1 + \frac{\Delta T}{T} \right)^4$$

Если изменение температуры ΔT мало по сравнению с T , то можно, вычислив степень справа, отбросить высшие степени малой величины $\Delta T/T$; тогда имеем

$$1 + \frac{\Delta W}{W} = \left(1 + \frac{\Delta T}{T} \right)^4$$

или

$$\frac{\Delta W}{W} = 4 \frac{\Delta T}{T}$$

Пусть теперь известно, что излучение Земли – по любым причинам – изменилось на 1%, то есть $\Delta W/W = 0,01$. Насколько изменится температура

земной поверхности T ?. Из предыдущей формулы $\epsilon = 0,0025$, и полагая $T = 300^\circ$, имеем $\Delta T = 0,75^\circ$, так что температура Земли изменится примерно на один градус.

Парниковые газы. Инфракрасное излучение Земли уходит в космос через атмосферу. Молекулы газов, составляющих атмосферу, могут рассеивать это излучение, в конечном счете возвращая часть его обратно на Землю. Примечательным образом, главные составляющие земной атмосферы – двухатомные молекулы азота N_2 , кислорода O_2 и одноатомные молекулы аргона Ar – не ответственны за этот процесс. Это весьма малые молекулы, по сравнению с длиной волны инфракрасного излучения, а столь малые молекулы почти не задерживают длинноволнового излучения. Если бы атмосфера состояла только из этих главных газов, то она свободно пропускала бы излучение Земли. Препятствие для этого излучения составляют *большие* молекулы таких газов, как углекислый газ CO_2 , метан CH_4 и некоторые другие, о которых еще будет речь. Несмотря на небольшое содержание этих газов в атмосфере, они перехватывают (вместе с облаками) почти 90% длинноволнового излучения Земли и отсылают обратно на Землю значительную его часть. В конечном счете, после повторного отражения газовыми молекулами, большая часть излучения Земли прорывается в космос. Но все же определенная часть его задерживается "парниковыми газами", и поскольку оптические свойства всех газов известны, то можно вычислить, какую часть излучения не выпускают в космос эти газы.

Если эта часть излучения возрастает на ΔW , вследствие промышленного выброса "парниковых газов", то это добавочное излучение возвращается на Землю. Тогда полное излучение, падающее на Землю, увеличивается на ΔW , а следовательно, по закону сохранения энергии, на столько же возрастает излучение Земли. Но тогда возрастает и температура земной поверхности, и ее приращение ΔT можно вычислить по закону Стефана – Больцмана, как мы видели выше. Таким образом, если известно, как изменился состав атмосферы, то строгие методы физики позволяют вычислить вызванное этим изменение температуры.

"Парниковый эффект" – вовсе не новое явление, связанное с технической деятельностью человека; это явление существовало всегда. Можно подсчитать, что если бы вообще не было парниковых газов, то средняя температура Земли была бы не $+20^\circ C$, как сейчас, а $-18^\circ C$ и скорее всего, при такой температуре не могла бы возникнуть жизнь. Таким образом, сам по себе "парниковый эффект" благотворен; опасно его

быстрое нарастание, наблюдаемое с 1750го года – с начала "технической революции".

Важнейшим из "парниковых газов" является углекислый газ CO_2 , который один ответственен за 60% "парникового эффекта". Содержание CO_2 в атмосфере тщательно изучено исследованием воздуха, извлеченного из глубинных слоев антарктического льда. Оказалось, что с конца последнего ледникового периода (около 10000 лет назад) до 1750-го года это содержание было почти неизменно, а после этого возросло по отчетливому экспоненциальному закону, как это видно из рисунка 7. В начале технической революции концентрация CO_2 составляла, по объему, 280 миллионных атмосферного воздуха, а теперь – 360 миллионных, то есть выросла на 30%. Тот же закон подтверждается современными измерениями, выполненными на десятках независимых обсерваторий. Например, на рисунке 8 изображен рост концентрации CO_2 в течение последних десятилетий, по данным обсерватории Мауна-Лоа на Гавайских островах. Поскольку на этих островах нет никакой промышленности, эти данные должны быть близки к средним величинам, образующимся путем перемешивания во всей атмосфере Земли

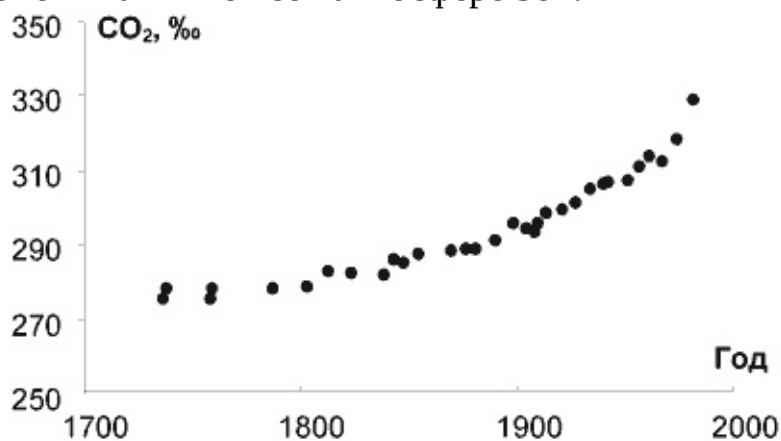


Рис.7

Изменение концентрации CO_2 в атмосфере начиная примерно с 1750 года по данным анализа глубинного льда ледника Siple в западной Антарктиде.

Рис.8

Рост атмосферного CO_2 с 1959 по 1999 годы, по измерениям на различных станциях: 1=Лоу Доум, Антарктика; 2=Мауна Лоа, Гавайи; 3=Барроу, Аляска; данные станции Лоу Доум представляют концентрации CO_2 в воздушных пузырьках ледяной коры; данные двух других станций

представляют среднегодовые концентрации CO_2 в воздухе близ поверхности Земли, согласно инструментальным измерениям (по Etheridge et al., 1998; Keeling and Worf, 2004). Рисунок заимствован у С.М. Семенова, 2004.

(пилообразные колебания, видные на этом рисунке, соответствуют сезонным циклам растительности в северном полушарии; такие колебания незаметны в кумулятивных данных рисунка 7). Отчетливый экспоненциальный рост содержания CO_2 , вытекающий из рисунка 8, полностью подтверждается данными всех других обсерваторий, собранными в отчете Всемирного центра данных о парниковых газах [5]. Результат всех этих измерений никем не оспаривается: содержание CO_2 ежегодно увеличивается на 0,4%, то есть в 1,004 раза. При этой геометрической прогрессии оно достигнет в 2100-ом году 500 миллионных объема воздуха, то есть станет вдвое больше доиндустриального уровня.

Можно сопоставить этот рост с другой экспонентой – ростом потребления углеродных топлив, которое до последнего времени удваивалось каждые десять лет. Промышленность ежегодно выпускает в атмосферу около 7 миллиардов тонн углерода, в составе углекислого газа. Около половины этого количества поглощается океанской водой, фотосинтезом растений (использующих солнечный свет для выработки углеводов из воды и углекислого газа) и разными другими процессами, например, образованием торфа. Эта доля не возрастает, и нет оснований надеяться, что она будет возрастать, так что прямое продолжение нынешней тенденции, изображенной на рисунке 8, будет означать экспоненциальный рост.

Экспоненциальное возрастание очень редко встречается в природе: оно означает "положительную обратную связь", когда возрастание некоторого фактора ведет лишь к дальнейшему его возрастанию, причем тормозящие факторы не действуют. Так бывает при различных катастрофах, вроде лесных пожаров или лавин. Напротив, в человеческой деятельности положительная обратная связь встречается сплошь и рядом. Нет сомнения в том, что оба экспоненциальных процесса – рост потребления углеродных топлив и рост содержания углекислого газа – связаны между собой, и что первый из них обуславливает второй. Механизм этой связи объяснен выше.

Другим "парниковым газом" является метан, производимый, кроме естественных источников, угольными шахтами и газовыми скважинами. Количество метана в атмосфере с начала промышленной революции

удвоилось, и теперь ежегодно возрастает на 1%. Молекула метана задерживает в 60 раз больше излучения Земли, чем молекула CO_2 . Еще более эффективны в этом отношении молекулы окиси азота N_2O – в 270 раз больше молекул CO_2 . Концентрация окиси азота в атмосфере возросла уже на 8%: она производится, в частности, при использовании удобрений и в различных промышленных процессах.

Особый класс атмосферных газов составляют галокарбонаты – хлорфторуглеродные соединения, не встречающиеся в природе и применяемые как фреоны в холодильниках и как составная часть пенопластов. Молекула этих соединений захватывает в тысячи раз больше инфракрасных лучей, чем молекула CO_2 . Об этих соединениях мы еще скажем отдельно.

Повышение температуры и изменение климата. По поводу повышения температуры, предсказываемого любыми методами, следует сделать предварительное замечание. Как известно, средняя температура земной поверхности, вычисленная по данным измерений в некотором году, меняется от года к году по случайным причинам, хотя эти изменения и невелики. Ясно, что совпадение предсказаний с наблюдениями не может быть точнее этих колебаний. Для такого сравнения следует брать усредненные температуры за время, сглаживающее эти случайные изменения. Таким способом получается равновесная температура, которая и имеется в виду в законе Стефана – Больцмана, тогда как случайные изменения от года к году отражают лишь неравновесные переходные процессы. Например, вряд ли возможно точно предсказать, какая температура будет в 2050 году, но можно предсказать среднее значение годовых температур между 2040 и 2060 годом.

Далее, надо упомянуть осложнение, связанное с водяным паром. Дело в том, что повышение температуры вследствие "парникового" действия таких газов, как CO_2 , вызывает усиленное испарение воды, а молекулы водяного пара производят добавочный парниковый эффект. Процессы испарения и образования облаков предсказать трудно, и связанное с ними повышение температуры можно предвидеть лишь с некоторой неточностью. Поэтому в предсказаниях повышения температуры гарантируется *нижняя* оценка: действительность может быть только хуже нее. Прежде всего, что уже известно о повышении температуры Земли?

Надежные данные о средней температуре земной поверхности имеются с 1860-го года. С тех пор повышение температуры было не меньше $0,3^\circ\text{C}$ и не больше $0,6^\circ\text{C}$. Может показаться, что это немного. Но за

10000 лет после последнего ледникового периода температура Земли повысилась всего на 5°C; таким образом, прежняя, естественная скорость изменения температуры возросла в десять раз. Разные части Земли нагреваются неодинаково; "парниковый эффект" больше сказывается на суше, чем на море, и больше в северном полушарии, где расположена большая часть суши. Например, ежегодное число вечеров без заморозков в северо-восточной части Соединенных Штатов за последние сорок лет возросло на одиннадцать. По данным одного исследования, вегетационный период растений за последние сто лет удлинился на неделю [6]. В южной Сибири, где еще в 60-ых годах сорокаградусные морозы продолжались неделями, теперь даже тридцатиградусные морозы стали редки. Десять самых теплых лет за последние сто лет были с 1980-го года, а по некоторым наблюдениям 1990-ые годы будут еще теплее. Общее потепление Земли в течение последних ста лет не вызывает у климатологов никаких сомнений.

Перейдем к предсказаниям. Межправительственная группа по исследованию климатических изменений (Intergovernmental Panel on Climate Change), поддерживаемая ООН и состоящая примерно из 2000 ученых разных стран, предсказывает, что к 2100-му году среднегодовая температура Земли повысится не менее чем на 1°C, но, возможно, на величину до 3,5°C – если только не будет резко уменьшена выработка "парниковых газов".

Срочность необходимых мер связана с тем, что CO₂ и другие "парниковые газы", однажды попав в атмосферу, могут оставаться там не меньше ста лет. Ожидается, что наибольшее возрастание температуры произойдет между 40° и 70° северной широты. Именно в этих местах произошло наибольшее потепление в 20-ом столетии. Например, при нынешнем уровне потребления углеродных топлив средняя температура июля в центре Вашингтона, составляющая теперь 30 °C, через сто лет возрастет на 5°C [6]. Вероятно, этот последний аргумент должен особенно подействовать на правительственных чиновников, поскольку лето в американской столице и сейчас не всегда приятно.

Впрочем, повышение температуры – это еще не самое важное изменение климата. Как сказано в уже неоднократно цитированном нами обзоре [6], "термин "глобальное потепление", в некотором смысле, обманчив, потому что он создает впечатление, будто средняя температура важнее всего. Между тем, это во многих отношениях наименее важный аспект целого ряда явлений, вытекающих из глобального потепления".

Предсказать эти явления гораздо труднее, чем повышение температуры. Дело в том, что Земля – это крайне сложная система, и методы компьютерного моделирования, применяемые для изучения ее климата, гораздо менее надежны, чем физические методы. Чтобы понять разницу, представьте себе, что вы нагреваете на электрической плитке кастрюлю с супом. Тогда вы можете очень точно вычислить, сколько энергии получит кастрюля, но лишь приблизительно предскажете, какой у вас получится суп: система очень сложна, и трудно предвидеть все происходящие в ней процессы. И все же, усилия климатологов заслуживают внимания. По уже указанным причинам они предсказывают только *средние* характеристики климата за некоторый период, а не точные их значения в таком-то году. Компьютерные модели, которыми они пользуются, испытываются следующим образом. Берут известные данные об уже прошедшем периоде и "предсказывают", что должно произойти через 50 или 100 лет, а затем сравнивают эти "предсказания" с тем, что действительно произошло; если такие "предсказания прошлого" подтверждаются, то модель считается пригодной, и ее применяют к исходным данным нашего времени. Действуя таким образом, они надеются учесть все существенные факторы, влияющие на климат Земли. Вот перечень предсказаний, с которым согласно большинство климатологов.

Если промышленные выбросы в атмосферу не будут резко сокращены, то уровень мирового океана, уже поднявшийся за сто лет не менее чем на 10 см, а теперь поднимающийся на 2 мм в год, к 2100-му году поднимется примерно на 50 см. Это приведет к затоплению местностей, где теперь живет 92 миллиона человек. Под водой окажется значительная часть Голландии, Бангладеша и приморских провинций Китая. Окажутся под угрозой многие морские порты, в том числе наш Петербург, расположенный почти на уровне моря. Трудно сказать, как будут таять ледники, но без сомнения они уже начали таять. Если повышение температуры "запустит" процесс таяния основных ледниковых масс – в Антарктиде и в Гренландии – то последствия будут катастрофическими: уровень океана поднимется на несколько метров. Дело в том, что равновесие земного климата очень неустойчиво: если его нарушить даже на небольшую величину, то, как можно уверенно предвидеть, новое положение равновесия будет далеко от прежнего.

Изменяются условия жизни многих животных и растений, очень точно приспособленных к своим "экологическим нишам". Хотя наиболее важные для нас виды, по-видимому, выживут, людям придется жить на Земле, не похожей на нашу. Это не значит, что люди не смогут жить в новых

условиях: вероятнее всего, в течение ряда десятилетий они смогут приспособиться к этой новой Земле и выживут, если не наделают новых глупостей. Можно сказать, конечно, что так или иначе люди делают Землю непохожей на то, чем она была. Но если можно предвидеть результаты этой деятельности, то возникает вопрос – хотим ли мы таких изменений или нет? Можем ли мы взять на себя такую ответственность перед нашим потомством?

Важно понять, что засорение атмосферы углекислым газом необратимо. В течение 250 лет были выпущены в атмосферу миллиарды тонн этого газа. И его невозможно устранить: чтобы "связать" этот газ, понадобилось бы столько же энергии, сколько было получено при его "освобождении", в процессе сжигания углеродных топлив. Закон сохранения энергии нельзя обойти! "Извлечение" углекислого газа из атмосферы было бы предприятием космического масштаба, сравнимым с созданием атмосферы на Марсе или другими подобными планами, столь легко удающимися писателям-фантастам.

"Переключатели" космических процессов. То, что происходит с "парниковым эффектом", нельзя сравнить с обычными человеческими предприятиями: здесь люди поворачивают "переключатель", направляющий космический процесс. Современная техника вложила такие переключатели в руки человека, и мы должны хорошо представлять себе, к чему это может привести.

Другое крайне опасное явление цивилизации – это выбросы веществ, вовсе не встречающихся в природе. Против таких веществ природа беззащитна, точно так же, как и сам человек. Равновесие природных систем выработалось в ходе эволюции, длившейся миллионы лет. Если мы вводим в эти системы совершенно чуждые им химические соединения, искусственно созданные человеком, это *может* привести к катастрофическим последствиям. Серьезные опасения вызывает окружающий Землю озонный слой. В отличие от хорошо изученного "парникового эффекта", озонный слой еще мало исследован, и мнения специалистов по этому поводу расходятся. Несомненно, этот очень тонкий и хрупкий слой озона защищает поверхность Земли от ультрафиолетового излучения, опасного для жизни. Если бы не было этого слоя, то скорее всего жизни не было бы вовсе и, несомненно, человеческая жизнь была бы невозможна. До сих пор высказанные суждения не вызывают споров. Споры начинаются, когда ставится вопрос об ущербе, причиняемом озонному слою человеческой техникой, и о причинах этого ущерба. Многие – но не все – исследователи этого вопроса полагают, что озонному слою

серьезно угрожают галокарбонаты, в частности, фреоны, применяемые в холодильных установках. По международному соглашению, были приняты некоторые – вероятно, избыточные – меры против выброса галокарбонатов. Многие возражают против этих мер, вызывающих практические неудобства, поскольку они основаны на "ненадежной информации". Как следует относиться к таким возражениям?

Каждый из нас вправе рисковать, когда речь идет о его собственной жизни. Но в случае озонного слоя речь идет о жизни всего человечества. Если мы запустим процесс разрушения озона, то, скорее всего, человечество от этого погибнет. Предупреждения об опасности галокарбонатов исходят не от политиков и журналистов, а от серьезных ученых. Ученые еще не вполне уверены в этой опасности, но считают ее вероятной. Все зависит от величины угрожающей опасности. Если эта опасность смертельна, то вы примете меры предосторожности даже при ее небольшой вероятности. Вспомните, какие меры предосторожности принимались, когда первые космонавты вернулись с Луны. Было очень маловероятно, что они могли там заразиться какими-нибудь вирусами, но их держали в карантине, потому что вирусы, чуждые нашей природе, могли иметь непредсказуемое действие. Когда мы начинаем манипулировать чем-то, чего никогда еще не было, то неразумно ссылаться на опыт наших предков: в таких случаях надо прислушиваться к голосу немногих, кто понимает новую опасность.

Несколько вопросов и ответов. Скажем еще несколько слов о полемике, развернувшейся вокруг "парникового эффекта". Для определенности, ограничимся важнейшим из "парниковых газов" – углекислым газом. Поскольку использование углеродных топлив – важный денежный вопрос, не приходится удивляться, что политики и журналисты не всегда говорят о нем правду. Как было уже сказано, среди специалистов расхождений очень мало, и они касаются лишь второстепенных деталей. Но случается, что неправду говорят и ученые, обычно специалисты в других областях. Не ставя под сомнение их мотивы, мы разберем сейчас некоторые наиболее распространенные возражения против имеющихся данных о техногенном нагревании Земли.

(А) Утверждают, что нагревание Земли вообще не доказано, или что причины этого нагревания не связаны с углекислым газом. Результаты тщательных измерений температуры, производившихся с 1860-го года и особенно подробных в нашем столетии, не оставляют сомнения в том, что Земля нагревается в наше время в десять раз быстрее, чем до "технической революции". Термодинамические вычисления, основанные на законе

Стефана – Больцмана, доказывают, что возрастание концентрации углекислого газа *неизбежно* вызывает повышение температуры, и дают надежную оценку этого повышения. Наконец, экспоненциальный рост содержания CO_2 – на 0,4% в год – установлен точными измерениями на многих независимых обсерваториях. Все это связывается в стройную картину. Попытки объяснить изменение температуры другими факторами не привели к цели.

(Б) Утверждают, что в прошлом атмосфера Земли содержала гораздо больше углекислого газа. Это было очень давно, когда еще не было человека. При человеке этого газа было не больше, чем теперь, по крайней мере с эпохи неолита (10000 лет назад); это доказывается измерениями на антарктическом льде. До этого *могло быть* несколько больше CO_2 ; но тогда люди жили иной, первобытной жизнью, и Земля была иной. Теперь речь идет о том, чтобы сохранить Землю культурного человека, которую во многом создал он сам.

(В) Утверждают, что "одно извержение вулкана выбрасывает больше углекислого газа, чем вся промышленность за много лет". Читатель может посмотреть на рисунок 8 и убедиться в том, что величайшее в истории извержение вулкана Кракатау несколько не отразилось на этом графике (оно было в 1884 году). Увеличение содержания CO_2 на 30% с 1750-го года должно было бы, по предыдущему объяснению, сопровождаться соответствующим возрастанием глобальной вулканической активности, чему нет никаких подтверждений. За 10000 последних лет таких явлений тоже не было, поскольку они не отразились на измеренном, *почти не менявшемся* содержании CO_2 .

(Г) Утверждают, что растения способны поглотить *любое* количество углекислого газа, как это доказывается выращиванием их в теплицах с высоким содержанием CO_2 . Когда увеличивают в несколько раз концентрацию CO_2 в теплице, это приводит к определенному, но вовсе не к пропорциональному росту урожайности. Отдельное растение имеет физиологически обусловленный предел производства биомассы. Содержание CO_2 в атмосфере растет в геометрической прогрессии. Чтобы поглотить этот газ, биомасса всех растений должна расти в той же прогрессии, а тем самым должно так же расти их число. Но для такого числа растений на Земле нет места. В течение последних 250 лет растения не помешали росту концентрации углекислого газа, и нет оснований ожидать этого в будущем.

Альтернативные источники энергии

Единственным серьезным конкурентом углеродной энергии является в наше время атомная энергия. Суждение публики об атомной энергии особенно искажено из-за таких трагических событий, как применение атомной бомбы в войне против Японии и чернобыльская катастрофа, вызванная преступной безответственностью чиновников бывшего Советского Союза. Предубеждение против атомной энергии столь велико, что публика не обращает внимания на очевидные факты, которые мы сейчас напомним.

Мы не можем входить здесь в рассмотрение финансовых вопросов, но атомная энергия несомненно сравнима по стоимости с углеродной, и для многих стран предпочтительна: Франция получает от нее более 75% своей энергии. При соблюдении предосторожностей атомная энергия безопасна даже в ближайшей окрестности атомных станций. Дозы облучения от атомных станций значительно ниже фоновых доз (получаемых людьми от естественной среды), или доз, получаемых при рентгеновском обследовании. Лион получает энергию от станции, стоящей на берегу Роны в 60 километрах вверх по течению реки, и в течение десятилетий это никого не беспокоит. За сорок лет атомной энергетики за пределами Советского Союза не было ни одной аварии с человеческими жертвами. Дело в том, что отходы атомных реакторов не выпускаются в воздух, как это делают на тепловых станциях, а собираются в компактные контейнеры и изолируются. Это возможно, потому что объем этих отходов несравненно меньше и они все время остаются на виду.

Когда средства массовой информации кричат о "тысячах тонн радиоактивных отходов", не все понимают, что тысяча тонн – это куб со стороной порядка десяти метров, и что почти все отходы после переработки в высокозамкнутой системе повторно используются. Между тем, отходы топливной энергетики составляют миллиарды тонн – а это уже куб со стороной в километры, в газообразном состоянии в десятки километров – но никто из-за них не беспокоится, поскольку бо'льшая часть таких отходов глаза не мозолит, а буквально "рассеивается в дым".

Даже суммарная радиоактивность топливной энергетики куда выше суммарной радиоактивности ядерных отходов, при современных способах их захоронения. Проблема хранения радиоактивных отходов не вызывает трудностей, если речь идет о периодах в несколько сот лет. Перед

занимающимися этим учеными ставят вопрос, как обеспечить их безопасность на время порядка 10000 лет. Это действует успокоительно, но необходима бдительность и нужен общественный контроль. В некотором смысле мы передаем и эту задачу будущим поколениям, но не в виде необратимого загрязнения атмосферы, а в виде доступных контролю небольших охраняемых складов, например, в сухих солевых шахтах, или на отдаленных островах.

Остается указать на менее известные, но очень важные недостатки атомной энергии. Первый из них – это трудность вывода из эксплуатации атомных станций. Некоторые из них, работающие уже сорок лет, отслужили свой срок, и опасаются, что устранение этих опасных сооружений может обойтись дороже, чем стоила вся выработанная ими энергия.

Другая проблема – это безопасность ядерного топлива. Урановые шахты требуют особых мер предосторожности, поскольку уже естественная урановая руда радиоактивна. Если эти меры достаточны для охраны здоровья шахтеров и рабочих, занятых перевозкой и переработкой руды, это может существенно удорожить ядерное топливо и отразиться на рентабельности его использования. Если же эти меры недостаточны, то в некоторых странах разработка урана может иметь роковые последствия для людей, особенно в тех частях Земли, где нет законного порядка – таких, как Африка и Россия. К сожалению, достоверные данные об этих предприятиях получить трудно.

До сих пор почти все усилия и расходы на развитие энергетики относятся лишь к углеродной и атомной энергии. Пока их вряд ли могут заменить другие, экологически чистые виды энергии; разработка их, по разным причинам, происходит медленно.

Экологически чистой является энергия сжигания дерева: как уже было сказано, при своевременной посадке и охране леса растущие деревья связывают столько же углекислого газа, сколько выделяется при сжигании древесины. К сожалению, этот источник энергии давно уже недостаточен для техники. В отличие от древесины, уголь и нефть *не возобновляются*. Они больше не связывают углерод при своем образовании, как это было в прошлые геологические эпохи. Если в наше время и начинается образование угля или нефти, то на это нужны миллионы лет.

Гидростанции, выгодные лишь на быстрых горных реках, и ветряные двигатели, зависящие от капризов погоды, не могут дать достаточно энергии и скорее полезны для удовлетворения местных потребностей. [Мы не касаемся здесь бессмысленного строительства гидростанций на

равнинных реках, где хозяйственный и экологический ущерб не окупается полученной энергией] Будущее принадлежит солнечной энергии и, может быть, термоядерной, если физики сумеют с ней справиться.

По еще не проверенным сообщениям, солнечные батареи уже могут дать энергию, сравнимую по стоимости с атомной. Мы еще не знаем, что означает в этих сообщениях "сравнимость", но солнечные батареи не содержат вредных компонент, безопасно изготавливаются и *ничего* не выделяют в атмосферу. До сих пор солнечная энергия применяется лишь в южных странах для бытовых целей – отопления, нагрева воды и иногда для освещения домов. Но в будущем небольшая часть какой-нибудь ныне бесполезной пустыни, покрытая похожими на зеркала солнечными батареями, сможет удовлетворить потребность в энергии большой страны – без всякого ущерба для экологии Земли. Для энергетики будущего нужны новые принципы, потому что современная техника, при всем разнообразии ее видимых достижений, находится в тупике. Отметим только три нерешенных проблемы.

1. Не решена проблема передачи энергии на расстояние. Нынешние способы явно непригодны: при передаче тока по проводам значительная часть энергии обращается в тепло и уходит в воздух, так что посылать ток на расстояние свыше двух тысяч километров уже не имеет смысла. Этим и объясняются еще более архаические способы транспортировки энергии – поезда с углем и нефтью.

2. Не решена проблема аккумуляции энергии. Имеющиеся электрические аккумуляторы – свидетельство бессилия современной науки; они лишь совершенствуют идеи прошлого века. Нет подвижных, легких двигателей, безвредных для атмосферы. Следствие этого технического тупика – такой экспонат музейной техники, как бензиновый автомобиль, тоже совершенствуемый в деталях, но по существу ничем не лучший, чем сто лет назад.

3. Не решена проблема термоядерной энергии. Возможность ее ежедневно демонстрирует Солнце: как и другие звезды, это природный термоядерный реактор, исправно действующий уже четыре с половиной миллиарда лет. Физики не умеют получать эту энергию, хотя и знают необходимые для этого условия: надо поддерживать в некотором веществе температуру в несколько десятков миллионов градусов. Остается придумать, как держать это вещество в ограниченном объеме. Они сумели только получить эту энергию в виде взрыва водородной бомбы. Вспомним для сравнения, что между теоретическим открытием ядерной энергии (Эйнштейн, 1905) и атомным реактором Ферми (1942) тоже прошло много

времени, а первым применением была атомная бомба. Бомб уже с нас хватит, и мы ждем от физиков дальнейших успехов.

Не видно объективных причин рисковать глобальным равновесием атмосферы, продолжая по инерции развивать топливную энергетику, – вероятнее всего, это не лучший путь даже для сохранения нынешнего высокого технического уровня стран Запада. Наоборот, самым прямым путем к выходу из глобального экологического кризиса представляется применение новых разработок. Причиной кризиса было стремительное, и потому во многих отношениях ошибочное развитие технической цивилизации; но речь идет о сравнительно небольшом числе особенно крупных ошибок – нужно их исправить и, главное, не допускать таких ошибок впредь. Вероятно, использование ископаемых топлив было исторически неизбежно, но упорное продолжение этой практики и отказ от серьезного исследования ее альтернатив – это непростительная ошибка. Что касается панических призывов некоторых фанатиков вовсе отказаться от техники, то это означало бы отказ от всех попыток разумно вести хозяйство. Нетрудно понять, к чему это привело бы при нынешнем населении Земли.

Напротив, лишь более совершенная техника, основанная на новых принципах и во многом уже проверенная в космосе и в биосферных экспериментах на Земле, может помочь нам преодолеть экологический кризис.

Проблема народонаселения

Наш вид *homo sapiens* (что означает по-латыни "человек разумный") с биологической точки зрения очень молод: он появился около 200 тысяч лет назад в Восточной Африке и, согласно генетическим расчетам, скорее всего в результате особенной мутации у единственного индивида ("Адама" или "Евы"). Возможно, около 60 тысяч лет назад с ним произошла еще одна мутация, поскольку с этого времени, при неизменном строении тела, резко усилилась способность человека изготавливать орудия. Несомненно, человек очень долго оставался крайне малочисленным видом, чем и объясняется редкость его ископаемых остатков, столь затрудняющая исследование истории нашего вида. О численности людей в начале этой истории нет даже правдоподобных допущений, если не считать гипотез вроде популяционной вспышки в эпоху охоты на мамонтов и резкого сокращения популяции после их истребления. В таблице 2, заимствованной у Макивди и Джонса [7], приведены предположительные данные о численности населения Земли с 10000 лет до н.э. до 1900 года; эти данные проверены по другим источникам и не очень от них отличаются. Коэффициент роста, указываемый начиная с 1000 года, есть отношение последующего числа к предыдущему.

Исторические оценки населения Земли

Год	население в миллионах человек	коэффициент роста
10000	4	
5000	5	
4000	7	
3000	14	
2000	27	
1000	50	
500	100	
200	150	
1	170	
200	190	
400	190	
500	190	
600	200	
700	210	
800	220	
900	240	
1000	265	
1100	320	1,2
1200	360	1,1
1300	360	1,0
1400	350	0,97
1500	425	1,3
1600	545	1,3
1650	545	1,0
1700	610	1,1
1750	720	1,2
1800	900	1,1
1850	1200	1,3
1900	1625	1,35

Табл.2

Соответствующий график (рисунки 9, 10) разбит на две части, так как невозможно было вычертить его в одном масштабе.

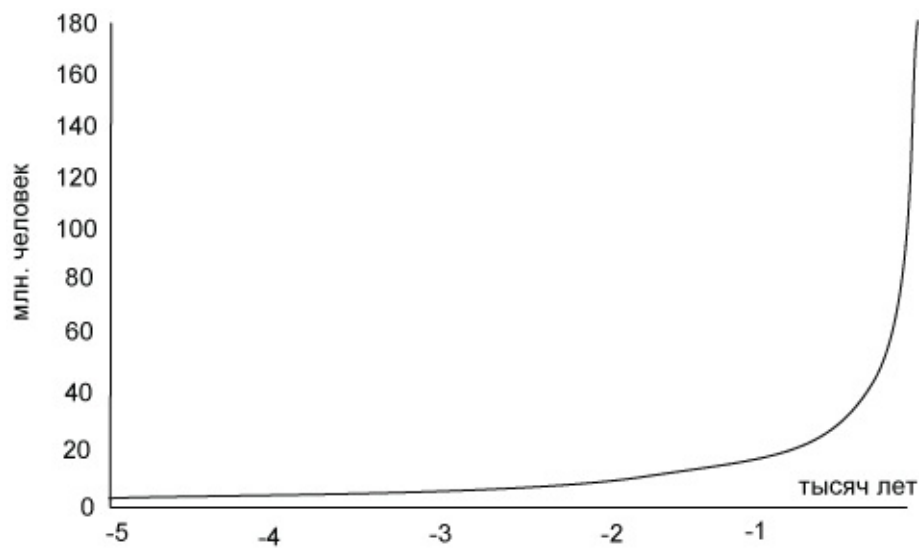


Рис.9

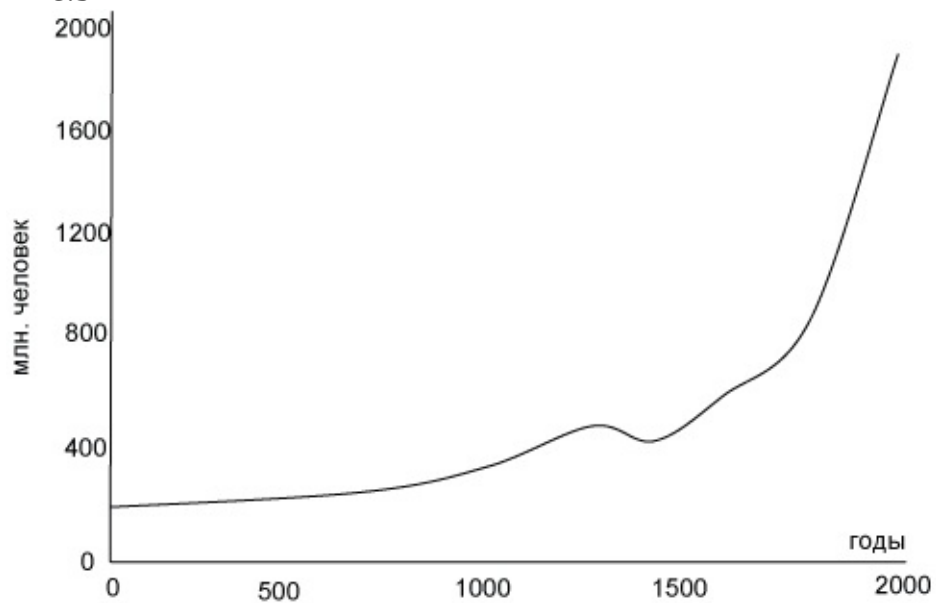


Рис.10

Наконец, таблица 2 и соответствующий ей график (рис.11) опираются уже на статистические данные и достаточно достоверны. В этой таблице [8] приведены также демографические предсказания на ближайшее будущее.

**Население Земли в середине соответствующего
года: 1950 – 2050**

Год	население в миллионах	средний годовой прирост (в %)
1950	2556	1,44
1951	2593	1,61
1952	2635	1,71
1953	2680	1,77
1954	2728	1,87
1955	2780	1,88
1956	2833	1,95
1957	2888	1,93
1958	2945	1,76
1959	2997	1,39
1960	3039	1,33
1961	3080	1,80
1962	3136	2,19
1963	3205	2,19
1964	3276	2,08
1965	3345	2,07
1966	3415	2,02
1967	3485	1,97
1968	3556	1,91
1969	3631	1,83
1970	3706	2,07
1971	3783	2,02
1972	3861	1,97
1973	3937	1,91
1974	4013	1,83
1975	4087	1,76
1976	4160	1,73
1977	4233	1,70
1978	4305	1,74
1979	4381	1,73
1880	4458	1,71
1081	4534	1,76
1982	4615	1,73
1983	4595	1,67
1984	4774	1,67
1985	4855	1,69
1986	4937	1,72
1987	5023	1,71
1988	5110	1,64

Табл. 2

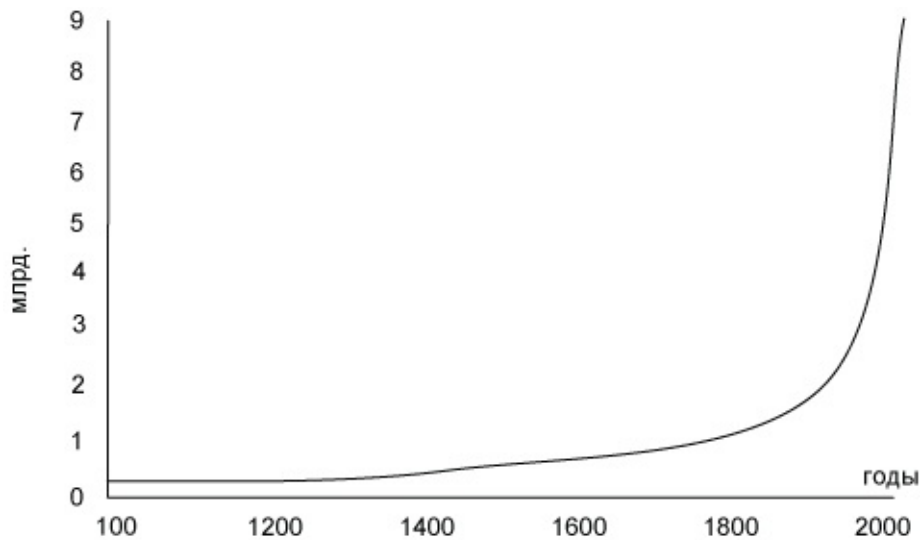


Рис.11

Самой замечательной особенностью человеческой популяции является непрерывный рост ее численности. Если в доисторические времена число людей, по-видимому, мало изменялось и до десяти тысячного года до н.э. вряд ли превышало пять миллионов, то с четвертого тысячелетия до тысячного года до н.э. оно почти удваивалось за каждое тысячелетие, составляя геометрическую прогрессию. Возможно, такой рост человечества был связан с переходом к земледелию, обеспечившим людям постоянный источник питания. Другой период геометрической прогрессии связан с наступлением Нового времени, то есть с революционным развитием производства в начале "капитализма"; этот период начинается после великой чумы 1348 года (вызвавшей единственное в истории убывание населения) и длится три столетия, с 1400 до 1700 года. Между 1700 и 1900 годом можно заметить и более быстрый рост, чем геометрическая прогрессия, поскольку показатель роста постепенно увеличивается. Наконец, в XX веке рост населения настолько ускорился, что для него геометрическая прогрессия уже не подходит.

Можно представить себе, что такой ускоренный рост объясняется процессом развития технической цивилизации. Как нам кажется, ускорение роста после 1950 года, при умеренном росте населения в "развитых" странах, можно объяснить введением дешевых антибиотиков, резко снизивших детскую смертность в отсталых странах с высокой рождаемостью. Опасность "перенаселения" преследовала мыслителей Европы, начиная с Мальтуса, объявившего в начале девятнадцатого века свой закон, по которому живые существа размножаются в геометрической

прогрессии, в то время как средства к их существованию возрастают лишь в арифметической прогрессии (то есть пропорционально времени). Поскольку очевидно, что размножение в геометрической прогрессии долго длиться не может (кроме начальных периодов использования новых ресурсов), избыточные особи должны погибать, что очень часто и происходит в животном мире. Но Мальтус больше всего имел в виду человека, и рост населения в двадцатом веке вызвал "неомальтузианские" настроения у многих социологов, подогретенные прогнозами так называемого "Римского клуба". Это квазинаучное общество, щедро поддерживаемое богатыми "спонсорами", в 60 годы уверенно предсказывало дальнейший катастрофический рост населения Земли.

Но вопреки этим предсказаниям примерно с 1962 года годовой прирост населения начал снижаться и упал с 2,19% до 1,38% в 1996 году; в последние годы он снижается в среднем на 0,03% в год [8]. Теперь считают, что к 2100 году или несколько позже население Земли стабилизируется – впервые в истории нашего вида. Во всяком случае, демографический отчет Объединенных наций за 1996 год называется "Мировое население с нулевого года до стабилизации" [9]. Вероятнее всего, что в последние десятилетия начали действовать новые культурные факторы – главным образом контроль над рождаемостью в странах "третьего мира"; к сожалению, такой контроль не всегда осуществлялся добровольными мерами, а в Китае проявился в виде произвола государственной власти, нарушающего права человека.

Попытаемся теперь изобразить весь ход "популяционной истории" человека на одном рисунке – что неизбежно приводит к искажению временных и количественных масштабов (рис.12).

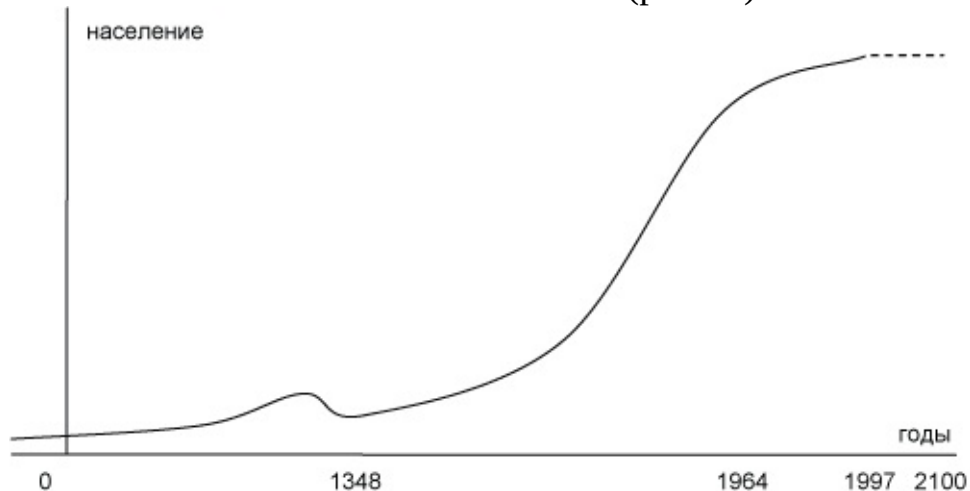


Рис.12

Разумеется, рисунок 12 не является фазовым портретом численности нашего вида: вдобавок к "невоспроизводимости" данной численности, о чем уже была речь по поводу энергии, даже точное повторение численности человечества не означало бы, что дальше все пойдет, как было. Со временем человек меняет свое поведение, приобретает новые средства, так что применение фазовых портретов к человеческой популяции для предсказания ее численности вряд ли возможно. Лишь для любопытного сравнения с другими видами можно сказать, что почти вся история *homo sapiens* напоминает гигантскую вспышку массового размножения; и было бы очень интересно предвидеть, на что будет похожа "стабилизация" этой вспышки.

Одна из модных в наше время "футурологических" концепций представляет себе идеальное будущее человечества "стационарным", с фазовым портретом энергопотребления вроде изображенного на рисунке 4, и с аналогичным "портретом" населения. В таком мире жило бы неизменное число людей, потребляя одно и то же количество энергии, разумеется, экологически чистой. Отказавшись, таким образом, от всякой "экспансии", в том числе от космических предприятий, люди жили бы на Земле, наслаждаясь тщательно охраняемой природой и, по-видимому, умерив свою охоту до всяких новшеств. Такое "идеальное" завершение истории кажется нам несовместимым с самой природой человека, как динамического существа: для человечества это была бы "эвтаназия", безболезненная смерть.

В действительности Земля все еще недонаселена, и некоторые страны (например, Германия) опасаются уменьшения населения. Особенно катастрофическим представляется положение в России за последние 10 лет (см. рис.13а, изображающий снижение рождаемости, и рис. 13б, изображающий уменьшение продолжительности жизни). при этом стабилизация населения происходит быстрее распространения цивилизации. Рост населения замедляется при переселении в города и при удлинении обучения детей. Во многих странах, в том числе и в России. Проблема убывания населения становится острее перенаселения. Это не значит, что уменьшается давление на среду: его усиливают "технический прогресс" и повышение качества жизни.

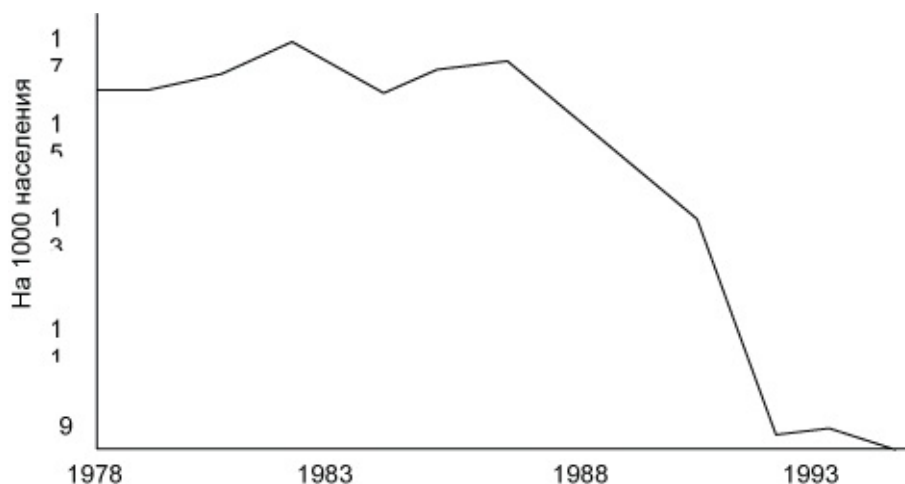


Рис.13а

Рис.13б

Наши потомки будут сознательно решать популяционную проблему и несомненно прибегнут к научным методам жизнеобеспечения, позволяющим во много раз увеличить производительность поверхности Земли. И вполне вероятно, что их все еще не будет слишком много, когда они смогут приступить к освоению космического пространства. Об этих вопросах мы уже кое-что знаем и расскажем вам в главе 11.

В наше время мы сталкиваемся с подлинной экологической безответственностью, прикрывающейся неомальтузианскими претензиями к "развивающимся" странам. Конечно, эти страны вошли в нашу "технологическую" эпоху с тяжелым наследием прошлого. В Индии крестьянину по традиции полагалось иметь много детей: среднее число рождавшихся в семье детей было шесть. Из них четверо умирало от эпидемических болезней, а выживало двое, что и нужно было для заботы о родителях. Эта традиция получила религиозную санкцию: должен был выжить хотя бы один сын, чтобы выполнять ритуальные церемонии после смерти отца. Такова была стабильность индийского общества, основанная на религии – и на кишечных инфекциях. Введение антибиотиков привело к тому, что все родившиеся дети могут выжить, если будет чем их кормить. Но, конечно, никакая "зеленая революция" не поможет, если в каждой семье вырастет шесть детей и, следовательно, население будет утраиваться в течение одного поколения: это было бы поистине осуществлением закона Мальтуса! Ясно, что очень скоро дети начнут умирать от голода. Значит, сознательный контроль рождаемости неизбежен – как он уже существует во многих странах. Для этого нужно ненасильственное просвещение населения.

Такие же средства нужны, чтобы внушить жителям богатых стран чувство их экологической ответственности перед человечеством. Например, Соединенные Штаты потребляют 38% используемых мировых ресурсов, производя всего 15% мировой продукции, население же их составляет 5% населения Земли. Несомненно, американцы умеют работать лучше многих других, и они пользуются плодами накопленной работы своих предков. Но в экологическом смысле выбросы американских предприятий и автомобилей составляют массу, далеко не пропорциональную их населению, и они поступают в общую для всех людей атмосферу. Как хотите, а мы все живем в "коммунальной квартире"! Что бы вы сказали, если бы ваши соседи по квартире – от которых вам некуда уйти – демонстрировали вам таким образом свое богатство? Представление о том, что *Земля конечна*, очень медленно проникает в сознание людей. Все мы дышим одним и тем же воздухом, и не видно способа сделать этот воздух частной собственностью, чтобы каждый сам дышал выхлопами и выбросами своих машин. То же относится к воде океана и даже к земной поверхности, с которой вода и ветер разносят ваши отходы. Вспомните, как Европа реагировала на чернобыльскую катастрофу.

Может быть, эти очевидные факты вызовут досаду у тех, кто любит своих ближних только во время богослужения, но другим они напомнят забытое представление о братстве всех людей. Подумаем еще раз об автомобилях. Чтобы изготовить автомобиль, надо переместить 200 тонн различных пород, и не везде есть строгие законы о фильтрах. Если "развивающиеся" нации в самом деле разовьются и станут богатыми нациями – почему бы им не последовать в этом примере японцев? – и если они станут подражать стилю жизни западных народов, что очень вероятно, то все они обзаведутся автомобилями, по два или три на семью; и если вы им напомните о фильтрах, то их правители скажут, что это их внутреннее дело. Можно опасаться, что наша Земля этого не вынесет!

Как видите, экология требует размышления. Но нами правят люди, которых выбирают на четыре или пять лет. Уверены ли вы, что они склонны думать о проблемах, заведомо не относящихся к этому сроку?

Глава 5. Свободный рынок

Экология и собственность

Переходя от глобальной экологии к региональной или локальной, мы сталкиваемся с проблемой сохранения или восстановления ценных экологических объектов, таких, как леса, реки, озера, моря, с их флорой и фауной, весьма чувствительной к хозяйственной деятельности человека. Некоторые из этих объектов и до сих пор считаются "неисчерпаемыми" и достаются человеку без усилий, а потому не имеют цены – таков кислород воздуха, которым мы дышим. Другие объекты природы – прежде всего пахотная земля и прочие сельскохозяйственные угодья – издавна имеют владельцев и продаются по определенной цене; по терминологии экономистов, они превратились в товар. Во многих случаях пользование лесами и водами не свободно, и они постепенно превращаются в собственность определенных лиц или организаций. Но в менее обжитых частях Земли природные объекты и до сих пор не имеют хозяев, а в ряде случаев их владельцем считается государство или король.

Как известно, "общественные" объекты не всегда так хорошо охраняются, как имеющие определенного собственника, если только их не защищают религиозные верования и племенные "табу". Современный человек, утративший традиционную мудрость своих предков, нередко пользуется благами природы безответственно и близоруко, уничтожая это достояние всего человечества. Подсознательные мотивы, которыми люди оправдывают такое поведение, сами по себе заслуживают внимания. Исторически понятие собственности возникло позже первобытных племенных представлений, рассматривающих все блага природы как "общую собственность". До сих пор люди не сомневаются, что воздух принадлежит всем, и что все имеют право дышать. В странах, богатых водой, никому не придет в голову запретить другому человеку пользоваться ею из реки или источника. Уже в исторические времена мы читаем у Овидия: "Кто запрещает воды? Воды находятся в общем пользовании". Но, конечно, в местах поливного земледелия очень рано установились на этот счет другие понятия. И вместе с сельским хозяйством возникла собственность на пригодную для обработки землю. Это вызывало протест у русских крестьян, сохранивших до прошлого века общинное хозяйство: они считали, что "земля божья", а за помещиком признавали только право на их труд, но не на землю. Даже в наши дни люди нередко возмущаются, когда таблички с надписью "Частная собственность" или с названиями

учреждений препятствуют им подойти к реке или к берегу моря.

Мы вовсе не ставим под сомнение естественность таких побуждений. Объекты природы, созданные ею до нас и без нашего участия, вряд ли могут "принадлежать" кому-нибудь в том же смысле, как построенный человеком дом или купленное им человеческое изделие. Идеальное решение вопроса об охране природы вовсе не состоит в присвоении ее объектов отдельными лицами и, конечно, в будущем "здоровом обществе" ("Sane Society") такой собственности не будет. Но для этого нужна длительная и трудная воспитательная работа. Те люди, с которыми нам сейчас приходится иметь дело, лишь в редких случаях способны беречь объекты природы без "личного" интереса, по внутреннему этическому побуждению.

Более того, люди, от которых особенно зависит сохранение природы – собственники крупных предприятий – проявляют себя в отношении природы, как настоящие "коммунисты": если объекты природы не имеют хозяина, эти люди считают их "общим достоянием" и губят их, не понимая ущерба, который они наносят самим себе и своим потомкам. Во всем, что не поддается немедленной денежной оценке, дельцы близоруки и расточительны. Как уже было сказано выше, право собственности должно быть ограничено интересами общества, так что собственник в некоторых случаях должен быть не вправе злоупотреблять своей собственностью. Дикий "капитализм", в смысле абсолютного права делать с собственностью все, что угодно ее владельцу, давно уже не существует: достаточно напомнить, что еще в тридцатых годах девятнадцатого века лондонские власти должны были ограничить пользование колодцами, чтобы прекратить эпидемию холеры. Колодцы имели собственников, но в любом случае надо было остановить заразу, и это было сделано, как только поняли, как распространяется холера. Те, кто этого не понимал, естественно, возражали, и в этой истории видна уже вся логика собственников, отвергающих любое "вмешательство" в их дела.

И все же, с надлежащими ограничениями возможных злоупотреблений, объекты природы должны иметь собственника: как показывает опыт, государственные, муниципальные и другие меры охраны природы – штрафы и наказания – чаще достигают цели, если они относятся к объектам, имеющим заинтересованного в их охране владельца. Лишь экономическая охрана природы имеет шансы на успех. В ближайшее время мы можем рассчитывать лишь на "собственнические" побуждения людей, что вынуждает нас рассматривать объекты природы как товары, поступающие на рынок и имеющие цену. Поскольку прежде большинство

этих объектов не имело цены, надо установить для них некоторые первоначальные, ориентировочные цены, как это уже делается в некоторых странах, например, в Канаде. Для этого надо вначале понять, что такое рынок, и как устанавливаются рыночные цены. В изложении этого вопроса мы будем следовать идеям работы [10].

Оптимизация производства и роль рынка

Рынок имеет долгую историю: в виде меновой торговли он существовал уже до появления денег. Еще раньше, когда обмен между племенами был редок, каждое племя должно было решать свою "внутреннюю" задачу о наилучшем использовании имевшихся в его распоряжении ресурсов. Эта задача состояла в получении достаточного количества каждого потребляемого продукта при наименьшей затрате труда. Надо было выбрать самые выгодные способы получения этого продукта, отказавшись от всех остальных. Естественно, шансы на выживание племени зависели от того, насколько успешно оно решало такие "задачи оптимизации".

Предположим, что рассматриваемое племя занимается земледелием, выращивая пшеницу. Допустим для простоты, что вся выращиваемая пшеница одинакового качества; как мы увидим, пренебрежение качеством продукции может привести к серьезным ошибкам, но мы начинаем с этого простейшего случая. Далее, предположим (опять-таки для простоты анализа), что пшеница выращивается на участках примерно равной площади, и что каждый участок обрабатывается одним из членов племени (обычно с помощью членов его семьи), причем работоспособность всех этих производителей и потребности их жизнеобеспечения совершенно равны. Такие условия, напоминающие идеалы "утопического коммунизма", и в самом деле наблюдались у древнейших сохранившихся до нашего времени земледельческих племен, например, у индейцев пуэбло, живущих в Мексике и на юго-западе Соединенных Штатов. Антропологи, изучавшие такие племена, думают, что описанный выше способ производства был типичен для всех земледельческих племен до возникновения частной собственности; разумеется, здесь не учитываются некоторые привилегии вождей и жрецов, освобождавшихся от производительного труда для других функций. Заметим, что "хозяева" участков лишь временно прикреплялись к ним, и периодически производился "передел" земли, как это делали в русской крестьянской общине до двадцатого века – о чем еще будет речь дальше.

Будем нумеровать участки индексом i , а общее число участков, пригодных для посева пшеницы, обозначим через n . Пусть производительность i -го участка составляет P_i килограммов в год (причем, разумеется, числа P_i могут быть различны, поскольку различны площади и

природные условия участков); тогда общее производство пшеницы, при условии, что обрабатываются все участки, было бы равно

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

килограммов. Предположим, что племя насчитывает N человек, и что среднее потребление пшеницы на человека составляет P_0 килограммов в год. Тогда годовая потребность в пшенице равна

$$P = NP_0$$

килограммов. Мы рассмотрим лишь случай, когда $P > P_0$, то есть когда можно, во всяком случае, обеспечить пшеницей все племя, обрабатывая все участки. Если племя не заинтересовано в излишнем продукте (как это наблюдается у индейцев пуэбло), то обрабатываются не все участки, а лишь самые выгодные из них. Стоящая перед племенем задача оптимизации состоит в выборе этих участков.

Обработка каждого участка требует определенных трудовых затрат, которые, как и производительность, различны для разных участков. Конечно, эти затраты измеряются не в деньгах, поскольку мы описываем общество без денег; но можно себе представить, что они складываются из затрат на приобретение орудий труда и на труд выращивания пшеницы. Поскольку денег еще нет, все эти затраты выражаются обычно в количестве выращиваемого продукта, качество которого мы будем считать одинаковым: в Японии до конца девятнадцатого века все налоги и повинности крестьян выплачивались рисом. Можно предположить, что вследствие однородности сельскохозяйственной работы и равноценности рабочей силы труд выращивания пшеницы измеряется числом килограммов пшеницы, за которое соплеменник согласился бы выполнить этот труд. Пусть полные трудовые затраты на i -ом участке составляют S_i килограммов.

Подчеркнем еще раз, что качество зерна и рабочей силы здесь не учитываются; дальше мы займемся этим очень важным вопросом, не принятым во внимание в "теориях стоимости" Д. Рикардо и К. Маркса.

Изобразим теперь все n участков и их свойства на следующей двумерной диаграмме.

Введем на плоскости координаты S, P (рис.1) и сопоставим участку с производительностью P_i и трудовыми затратами S_i точку с координатами (S_i, P_i) . Все такие точки $i = 1, 2, \dots, n$ заполняют на рисунке 1 некоторое "облако" точек, окруженное замкнутой кривой, и требуется выделить часть этого облака, дающую заданную общую продукцию зерна при наименьших общих трудовых затратах.

Предположим, что набор участков, решающий эту задачу, занумерован первыми m числами $1, 2, \dots, m$ ($m < n$). Тогда, по условию, должны удовлетворяться все потребности в зерне, то есть должно быть

$$P_1 + P_2 + \dots + P_m = P,$$

и при этом условии сумма трудовых затрат

$$S_1 + S_2 + \dots + S_m = S$$

должна быть минимальной.

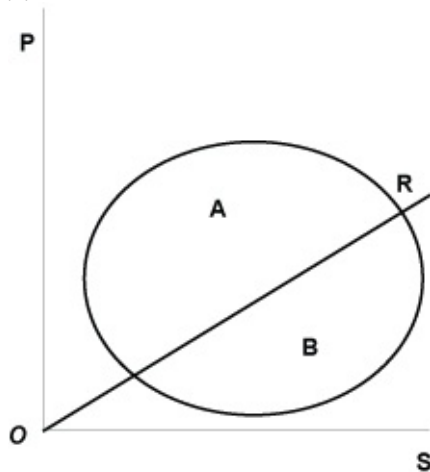


Рис.1

Трудовые затраты на килограмм зерна составляют для i -го участка S_i/P_i , что геометрически означает наклон к оси P прямой O_i . Ясно, что прежде всего желательно использовать те участки i , для которых этот наклон возможно меньше. Сначала выберем участок с наименьшим наклоном, затем – со следующим по величине, и т.д. Прямую R , отсекающую отобранные участки, построим следующим образом. Можно себе представить, что вначале прямая R совпадает с осью OP ; вращая ее вокруг точки O , как часовую стрелку, мы остановим ее в таком положении, когда полная производительность участков выше нее и на ней самой достигнет требуемой величины P . Закрепим прямую R в таком положении и будем называть точки i , указанные выше – то есть расположенные выше прямой R и на этой прямой – "областью A ", а все остальные точки, расположенные ниже прямой R , – "областью B ".

Как мы покажем, имеет смысл засеивать лишь участки области A , которые оказываются наиболее выгодными для производства пшеницы. В самом деле, предположим, что один из участков области A , с номером i , не обработан, и покажем, что в этом случае можно предложить более выгодный способ использования имеющихся земельных ресурсов. Поскольку задана общая производительность P , какую надо получить со

всех обрабатываемых участков, а область А построена так, что все ее участки вместе дают именно эту продукцию, то выпадение участка i означает, что обработаны некоторые из участков остальной области В. Предположим, что участки $j_1, j_2, \dots, j_k$ области В обработаны и дают в сумме как раз недостающую производительность P_i участка i . Покажем, что в таком случае выгоднее прекратить их обработку и вместо них обработать один участок i .

Пусть j означает любой из упомянутых участков области В. Тогда наклон прямой O_j по отношению к оси S меньше наклона прямой O_i (см. рис.1), поскольку первая из них ниже прямой R , а вторая – выше. Наклон измеряется отношением ординаты точки прямой к ее абсциссе, одним и тем же для всех точек прямой; поэтому для всех точек j рассматриваемого набора справедливо неравенство

$$\frac{P_j}{S_j} < \frac{P_i}{S_i}.$$

Умножив обе части на $S_i S_j$ и выполнив сокращения, можно переписать это в виде

$$S_i P_j < S_j P_i.$$

Такие неравенства верны для всех значений j нашего набора, то есть для $j = j_1, j_2, \dots, j_k$. Сложив их, получаем

$$S_i P_{j_1} + S_i P_{j_2} + \dots + S_i P_{j_k} < S_{j_1} P_i + S_{j_2} P_i + \dots + S_{j_k} P_i$$

или, что то же,

$$S_i (P_{j_1} + P_{j_2} + \dots + P_{j_k}) < (S_{j_1} + S_{j_2} + \dots + S_{j_k}) P_i$$

Но сумма в левой скобке, по самому выбору участков j , равна производительности P_i участка i , который они заменяют, а сумма в правой скобке есть полная величина затрат на всех указанных участках j , которую мы обозначим через S . Итак, получаем $S_i P_i < S P_i$, или, сокращая на P_i , $S_i < S$. Это значит, что замена набора участков j одним участком i , не меняя общей производительности P , приводит к снижению затрат, так что такая замена выгодна.

В общем случае может оказаться, что не обработано несколько участков области А (а не один, как мы предполагали до сих пор), и вместо них обработан некоторый набор участков области В; можно доказать, что и в этом случае выгодно отказаться от обработки участков из В, заменив их участками из А. Мы не приводим математического доказательства, которое

заинтересованный читатель может выполнить самостоятельно. Заметим только, что наименьшая сумма затрат достигается, когда обрабатываются все участки области A , и только они. Можно с уверенностью предположить, что так и произойдет в действительности, поскольку рассматриваемое племя после ряда попыток найдет наиболее выгодные участки и, не будучи заинтересовано в избыточном зерне, не станет обрабатывать остальные.

Таким образом, "двумерный" метод, изображаемый рисунком 1, уже позволил нам выяснить, какие из участков в действительности обрабатываются. Становится понятным, откуда взялись "пшеничные пояса", где выгодно выращивать пшеницу (особенно в Соединенных Штатах), "кукурузные пояса", и т.д. Конечно, точный математический расчет, описанный выше, с учетом всех нужных для него данных – производительности и трудовых затрат всех участков – не под силу никакому первобытному племени, и даже современному обществу. Он имеет теоретическое значение, так как позволяет понять, как мы увидим, целый ряд экономических явлений. Но племя эмпирически находит оптимальное решение, последовательно испытывая разные участки и обменивая их друг на друга, на чем было основано и приведенное выше доказательство (принадлежащее Рикардо). Мы еще не раз встретимся с этим свойством стихийных экономических процессов: они управляются мотивами "сиюминутной", непосредственной выгоды отдельных лиц, но в конечном счете их результаты совпадают с выводами точного математического анализа, решающего некоторую задачу оптимизации. Как мы сейчас покажем, диаграмма рисунка 1 применима без изменений к современным условиям частной собственности и денежного хозяйства.

Рассмотрим по-прежнему производство пшеницы, но в некоторой современной стране. Будем сначала считать, что на всех участках вырастает зерно одинакового качества. Участки i будут теперь обрабатываться не временно использующими их членами племени, а их постоянными собственниками. Производительность i -го участка по-прежнему измеряется в килограммах и обозначается P_i ($i = 1, 2, \dots, n$). Что же касается трудовых затрат на i -ом участке, S_i , то в условиях денежного хозяйства их можно измерять деньгами, например, рублями: при однородной работе (хотя и разной продолжительности) на всех участках можно считать известной оплату за час рабочего времени, установившуюся в данном месте в данное время, и к оценке рабочего времени, нужного для обработки участка, прибавляется величина необходимых расходов на орудия и материалы. В

сумме получается число S_i . Это число можно представить себе как сумму, которую должен был бы затратить воображаемый "посторонний" владелец участка, чтобы оплатить его обработку точно тем же способом, как это делает его хозяин. Она складывается из хозяйственных расходов (на орудия и материалы), которые мы обозначим через S_{ia} , и оплаты труда i -го хозяина S_{ib} , если нанять его как батрака за принятую почасовую оплату:

$$S = S_{ia} + S_{ib}.$$

(В сельском хозяйстве члены семьи обычно участвуют в работе, но мы будем для простоты рассматривать хозяина участка и его семью как нераздельную трудовую единицу и говорить лишь о работе самого хозяина участка).

Допустим, что все величины P_i , S_i и полная годовая потребность в зерне P известны. Тогда, в точности повторяя приведенные выше рассуждения, можно построить "облако" точек i рисунка 1, провести прямую R и выделить области A и B таким образом, чтобы участки области A давали в сумме требуемое в данной стране количество пшеницы P при наименьших трудовых затратах.

Конечно, это будет самый дешевый способ обеспечить зерном все население страны, Но такой выбор участков для посева может показаться очень уж "социалистическим", поскольку целью его является наилучшее удовлетворение интересов общества в целом. Между тем, при денежном хозяйстве и конкуренции – существующих при "капитализме" [Определение капитализма (не сводящееся к «свободному рынку») будет дано дальше] – каждый производитель, как предполагается, преследует лишь собственные интересы, а вовсе не заботится об "общем благе". Оказывается, однако, что личные интересы отдельных людей приводят в точности к тому же результату, что оптимальное планирование для общества в целом!.

В самом деле, предположим, что при некотором первоначальном способе засева участков общая производительность уже равна требуемой величине P . (в противном случае не удовлетворенный спрос вызвал бы обработку добавочных участков). Если при этом один из участков i области A остался все еще не засеянным, то, как мы видели, некоторая группа владельцев участков $j_1, j_2, \dots, j_k$ из области B может выгодно обменять свои участки на участок i , с сохранением той же общей производительности, но с уменьшением их общих трудовых затрат. В условиях денежного хозяйства "обмен" означает, что они купят участок i у его владельца, продав свои нерентабельные участки (например, людям, желающим выращивать там что-нибудь другое, или пасти там скот). Такая сделка может быть

связана для них с денежными потерями, но однократными, между тем как разница в трудовых затратах будет доставлять новым владельцам участка i более высокий ежегодный доход, который со временем окупит их потери. Сделка эта будет выгодна и для прежнего владельца i -го участка, потому что он не обрабатывает свой участок и, скорее всего, согласится продать его за подходящую цену; а поскольку такие сделки выгодны для обеих сторон, то они будут непременно происходить до тех пор, пока вся область A не будет засеяна пшеницей, а вне ее пшеницы сеять не будут.

В предыдущем объяснении формирования пшеничного рынка уже допускается, что в некоторой мере существует земельный рынок или, по крайней мере, лежащие в его основе мотивы "рыночного поведения". Эти мотивы подробно рассматриваются ниже.

Себестоимость

Себестоимостью зерна на i -ом участке называется величина трудовых затрат на один килограмм зерна (выраженная в рублях). Обозначая эту величину через C_i , имеем

$$C_i = S_i/P_i.$$

Это число имеет простое геометрическое истолкование (рис.2): C_i есть наклон прямой O_i по отношению к оси P , то есть отношение абсциссы S_i точки i к ее ординате P_i . Это не что иное как тангенс угла, образуемого прямой O_i с осью P . Как видно из рисунка 2, для участков i области A , изображаемых точками выше прямой R и на этой прямой, наибольшее значение угла PO_i есть POR , а это значит, что наибольшее значение себестоимости достигается на самой прямой R . Если i_0 – участок на прямой R , то себестоимость C_0 на нем равна отношению абсциссы S_0 этой точки к ее ординате P_0 . Как легко проверить, это отношение не зависит от выбора точки на прямой R : для другого участка i_0' на этой прямой из подобия прямоугольных треугольников $S_0O_{i_0}$, $S_0'O_{i_0}'$ следует равенство

$$\frac{S_0'}{P_0'} = \frac{S_0}{P_0},$$

а это значит, что себестоимость на участке i_0' также равна C_0 .

Таким образом, наибольшая себестоимость в области A равна наклону прямой R к оси P и достигается для группы производителей, участки которых изображаются точками этой прямой.

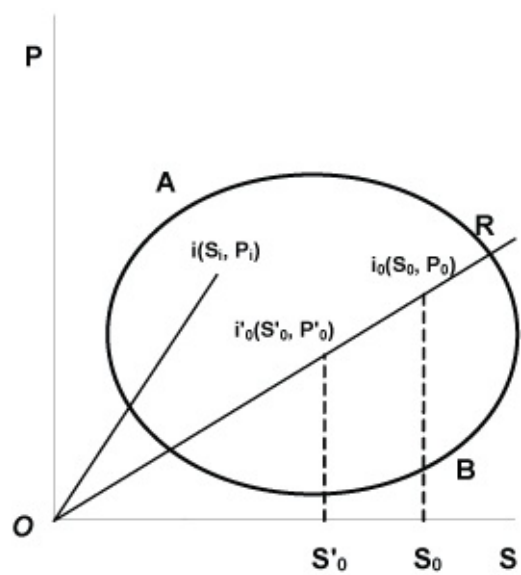


Рис.2

Свободный рынок

Операции "обмена", которыми мы выше объяснили формирование рынка, предполагают уже, что хозяева всех участков знают свою производительность и свои трудовые затраты – как хозяева из области А, так и из области В. Это значит, что в начале формирования рынка все участки уже должны обрабатываться; если это не все пригодные для этого участки (как мы допустили выше), то мы составим облако рисунка 1 только из участков, имевших хозяев и обрабатывавшихся в начале рынка. Исследователь, знающий все величины S_i , P_i и P , может заранее предвидеть, кто из производителей войдет в область А и, тем самым, сумеет продать свое зерно, и кто не сумеет продать его и разорится. Но сами хозяева знают гораздо меньше, чем этот теоретически возможный исследователь. Они попросту выращивают пшеницу и выносят ее на рынок, и рынок определяет, кто на нем останется и кто должен с него уйти. Как и в других случаях, стихийная деятельность рынка приводит к тому же результату, как точный математический расчет – на практике, разумеется, невозможный из-за трудности получения и обработки всех необходимых данных. Что же происходит на рынке?

Описываемый ниже рынок представляет идеализацию реально существующих рынков: это так называемый "свободный рынок". В литературе встречается много разных определений этого понятия, и все они в той или иной степени предполагают "честность" торговых операций и невмешательство "посторонних" в сделки между производителем, выступающим в роли продавца, и потребителем, выступающим в роли покупателя. Мы определим свободный рынок следующими ниже требованиями. Эти требования (на ученом языке "постулаты") представляют собой запреты: они говорят, чего не разрешается делать на рынке, но не говорят о том, что там на самом деле делают. О мотивах рыночного поведения речь будет дальше.

На первый взгляд следующие ниже условия 1 – 4 могут показаться странными: смысл их, правда, достаточно ясен, но могут возникнуть сомнения, действительно ли они соблюдаются в тех процессах, которые обычно называются рыночной торговлей. Поэтому мы просим читателя, прежде чем составить о них мнение, прочесть следующие за ними комментарии.

Постулаты свободного рынка

1. Торговля на рынке производится без посредников: продавцами являются сами производители, а покупателями – сами потребители.
2. Запрещены сговоры между продавцами с целью повышения цен.
3. Запрещены сговоры между покупателями с целью снижения цен.
4. За исключением указанных выше ограничений, не допускается никакое внешнее вмешательство в рыночные отношения.

Как правило, эти условия не выполняются, или выполняются лишь отчасти. Условие 1 выполняется лишь на базарах, куда фермеры сами привозят свою продукцию, и где они продают ее горожанам. В Соединенных Штатах такие базары обычно устраиваются на периферии городов; они очень популярны, поскольку уменьшают фальсификацию продуктов и устраняют паразитизм торговцев-посредников. Но, конечно, базары работают лишь в отдельные дни, и до них не всегда легко добраться; поэтому бо'льшая часть продукции продается через торговую сеть. У нас в России базары этого рода всегда играли полезную роль, если их не захватывали уголовные элементы.

Условие 2 означает запрещение монополий. Сговоры между производителями представляют очень обычное явление в современном мире. Они особенно опасны, если число производителей данного товара невелико: в случае их сговора потребителю некуда податься, и сговорившиеся продавцы диктуют ему вздутые цены. Уже в начале нашего века во многих странах были приняты законы против монополий: монополизация рынка немногими (или даже одним) производителем, вытесняющим с рынка всех остальных, рассматривалась как "нечестная торговая практика". Не входя в обсуждение моральной стороны этого дела, заметим, что законодательные меры против монополий действуют слабо, и справиться с ними может только сильная конкуренция.

Условие 3 означает запрещение бойкота. Покупатели могут бойкотировать данный рынок, если они в состоянии достать нужный им товар иным путем или в течение длительного времени обойтись без него. Так как покупателей много и они слабо связаны между собой, возможности бойкота невелики. Как правило, эффективный бойкот основывается на какой-нибудь неэкономической идее, как, например, бойкот древесины из Бразилии, уменьшивший вырубку амазонских лесов. Заметим, что деятельность ассоциаций потребителей, направленная против

фальсификации товаров и нечестной рекламы, тоже подпадает под понятие сговора и нарушает постулаты свободного рынка. В следующем дальнейшем анализе мотивов рыночного поведения условия 2 и 3 проявляются в том, что продавцы и покупатели принимают решения свободно и независимо друг от друга, руководствуясь только личным интересом, как они сами его понимают.

Наконец, условие 4 означает, в частности, невмешательство государственной власти всех уровней. Если это вмешательство достигает размеров, какие оно имело в так называемых "социалистических" странах, то рынок никоим образом не свободен, и возникают различные виды подпольного "черного рынка". Этими явлениями, далекими от обычного понятия рынка, мы не будем заниматься. Из вмешательства в дела рынка возникает также явление дефицита: как правило, дефицит товаров означает нарушение прямой связи между спросом и предложением. При рассмотрении рынка пшеницы мы уже предположили, что может быть произведено больше товара, чем требуется; в дальнейшем мы также будем исключать дефициты. Наконец, в соответствии с понятием частной собственности мы будем предполагать, что каждый производитель полностью располагает всем произведенным им товаром: например, каждый производитель пшеницы свободно распоряжается всем урожаем с участка, собственником которого он является. Существование налогов уже представляет вмешательство в дела рынка посторонней силы; впрочем, можно считать, что налог пропорционален урожаю и вычитается из него перед началом торговли, так что величины P_i означают то, что осталось.

Понятие свободного рынка, впервые введенное во второй половине восемнадцатого века Адамом Смитом, легло в основу экономической науки. Это идеальное упрощение, необходимое в начале исследования рынка и подлежащее в дальнейшем, в частных случаях, корректировке и дополнению. Аналогичную роль играют в математике понятия линии и поверхности, в физике – понятия материальной точки, абсолютно черного тела, и т.п. Некоторые экономисты определяют понятие свободного рынка таким образом, что допускаются любые способы сговора и обмана покупателей. Мы уже говорили о практике монополий, обычно рассматриваемой как "нечестная" и запрещаемой нашим условием 2. Что касается обмана покупателей, то он состоит главным образом в неправильной информации о качестве товара. Этим вопросом мы займемся дальше: при рассмотрении качества нам придется дополнить постулаты свободного рынка еще одним требованием.

Конкуренция

Как уже было сказано, постулаты свободного рынка говорят лишь о том, чего не должны делать его участники, но не о том, как они себя в самом деле ведут. Мотивы поведения продавцов и покупателей надо формулировать особо; мы опишем их в виде приводимых ниже "правил", которые обобщают их среднее наблюдаемое поведение.

Поскольку эти правила предполагают свободное и независимое принятие решений – о назначении цен продавцами и о покупке товаров покупателями – они не могут выполняться, если рынок не свободен в указанном выше смысле; таким образом, постулаты свободного рынка являются необходимыми условиями рыночного поведения, описываемого ниже. Но, разумеется, они не достаточны для того, чтобы люди стали вести себя так, как они ведут себя на рынке. Движущей силой этого поведения является стремление к обогащению. Классики "политической экономии" считали это стремление чем-то само собой разумеющимся – неотъемлемой чертой человеческой природы.

Предположим для простоты, что цены образуются в течение первого периода работы рынка, который мы назовем первым "сезоном". Допустим, что полная потребность в товаре P – в нашем случае в пшенице – должна быть удовлетворена в каждом сезоне и не меняется от сезона к сезону. Сезон состоит из более коротких периодов, называемых "днями", и предполагается, что в начале каждого дня каждый продавец назначает цену за свой товар (в нашем случае – цену в рублях за 1 килограмм пшеницы), которую он сохраняет в течение этого дня. Попытаемся формулировать, какими соображениями руководствуются продавцы при назначении цен.

В начале первого дня торговли продавцы назначают более или менее произвольные цены, соблюдая лишь объясняемое ниже условие – не продавать товар ниже его себестоимости. В начале каждого следующего дня они, по-прежнему соблюдая указанное условие, принимают во внимание цены, бывшие на рынке в предыдущий день.

Чтобы понять поведение продавцов и покупателей, надо иметь в виду, что им неизвестны точные данные о рынке (в нашем случае это производительность P_i и трудовые затраты S_i всех участков и полная потребность P). Эти данные теоретически считаются известными исследователю, составляющему диаграмму рисунка 1 с областями А и В. Поскольку область А наиболее выгодна для выращивания пшеницы и дает

в точности требуемое количество зерна P , исследователь в принципе может установить, кто из производителей i входит в область A , и тем самым предсказать, кому гарантирован сбыт его урожая. На практике, конечно, даже исследователь не располагает точными данными, так что его описания могут быть лишь приблизительными; но для понимания рыночных процессов мы предположим, что его знание всех этих данных вполне точно. Продавцы же совсем не знают этих данных: каждый из них знает лишь (приблизенно) производительность и себестоимость на собственном участке. Поэтому продавцы не уверены в том, что входят в число "рентабельных" хозяев, то есть смогут продать свою пшеницу (на языке нашей модели – что они входят в область A). Напомним, что $P > P$, то есть предложение превышает спрос! Эта их неуверенность и является главным двигателем конкуренции.

Первое правило поведения продавцов состоит в том, что никто не продает свой товар ниже его себестоимости. Рассмотрим опять рынок пшеницы. Трудовые затраты складываются при этом из хозяйственных расходов и стоимости труда хозяина участка. Этот труд оценивается, как мы предположили выше, установившейся в данном месте в данное время почасовой оплатой работы выращивания пшеницы, то есть работы воображаемого батрака, который делал бы в точности то же, что i -ый хозяин. Мы считаем эту работу однородной, одинаковой на всех участках, но различной по продолжительности, в чем и проявляется различие участков. Наконец, мы предположим, что каждый производитель знает (хотя бы приближенно) производительность своего участка P_i и себестоимость своего зерна C_i . Его трудовые затраты $S_i = C_i P_i$, и если бы он продавал зерно по цене C_i' , меньшей себестоимости C_i , то его выручка $C_i'P_i$ была бы меньше его трудовых затрат:

$$C_i'P_i < S_{ia} + S_{ib}.$$

Если считать хозяйственные расходы S_{ia} неизбежными для ведения хозяйства, то на содержание хозяина и его семьи оставалось бы меньше S_{ib} , а следовательно "уровень жизни" их был бы ниже, чем если бы он был батраком. Такой уровень не соответствует "экспектациям" хозяина, то есть его притязаниям и привычкам. Мы еще встретимся дальше с социальным фактором, входящим в мотивацию человеческого поведения. Однако, величина S_i определяется объективно существующими экономическими условиями. Конечно, человек, оказавшийся в таких условиях, может какое-то время работать себе в убыток, ради престижа хозяина участка, но мы

оставим в стороне такие исключения и предположим, что цен ниже себестоимости не назначают.

Следующее правило рыночного поведения продавцов ясно выражает их конкурентную установку. Зная цены вчерашнего дня, продавец опасается назначить цену выше, или даже равную наинизшей из вчерашних цен; в самом деле, при сохранении этих цен у других они составили бы ему конкуренцию. Он назначит цену несколько ниже наинизшей из этих цен, если только эта последняя выше его себестоимости. В противном случае он может лишь назначить цену, равную своей себестоимости: этим он минимизирует число своих конкурентов. После этого ему остается ждать, пока более удачливые продавцы, которые могут позволить себе более низкие цены, продадут свой товар и очередь дойдет до него.

Предыдущие соображения продавцов уже предполагают тенденцию покупателей, выражаемую следующим правилом: покупатель всегда покупает товар по наименьшей возможной цене. Напомним, что в этом простейшем анализе рассматривается товар одного и того же качества, так что у покупателя нет других мотивов, кроме цены. Второе правило поведения покупателя предполагает, что в условиях снижающихся цен он будет выжидать, пока цены не перестанут снижаться. Тем самым он избегает лишнего расхода, и если ему в самом деле удастся уловить этот момент, покупает товар по минимальной цене. Конечно, на практике эти правила не всегда соблюдаются. Более того, как раз в первые дни торговли, когда цены, как мы увидим, снижаются, их снижение стимулируется тем фактом, что какая-то часть товара уже покупается (по наинизшей из назначенных цен). Но мы будем считать, что продавцы и покупатели, не придерживающиеся "правил рыночного поведения", немногочисленны, и что в подавляющем большинстве случаев эти правила соблюдаются.

Правила рыночного поведения

Мы формулируем теперь в окончательном виде правила, которых придерживаются на рынке продавцы и покупатели:

1. Продавец назначает цену не ниже себестоимости своего товара.
2. Начиная со второго дня работы рынка, продавец назначает цену ниже наинизшей из вчерашних цен, если эта наинизшая цена выше его себестоимости, или цену, равную его себестоимости, в противном случае.
3. Покупатель покупает товар по наинизшей из рыночных цен в момент покупки.
4. При снижении цен покупатель не покупает товар до тех пор, пока снижение не прекратится.

Механизм образования цен

Теперь мы можем представить себе, как на рассматриваемом рынке устанавливается цена. В течение первого сезона работы рынка продавцы выносят на рынок больше товара, чем требуется покупателям: напомним, что мы рассматриваем рынок без дефицита. Продавцы, не знающие величины полной потребности P и данных о других продавцах, не уверены, что смогут продать свое зерно, и вступают друг с другом в конкуренцию. Следующее дальше описание образования цен, разумеется, схематично и гораздо проще действительно происходящего на рынке. Это описание следует понимать как изображение главных тенденций продавцов и покупателей, не принимающее во внимание "отклоняющееся" поведение.

В первый день работы рынка цены могут быть в значительной мере случайны, хотя по правилу 1 они не ниже себестоимости у каждого продавца. Начиная со второго дня, каждый продавец, следуя правилу 2, снижает свою цену до некоторого уровня, меньшего наинизшей из вчерашних цен, если эта цена выше его себестоимости; в противном случае, чтобы уменьшить число конкурентов, он снижает свою цену до себестоимости своего товара. Происходящее при этом снижение цен стимулируется покупками – по наинизшей доступной цене, согласно правилу 3 – но такие покупки редки, поскольку большинство покупателей, придерживаясь правила 4, выжидает, пока не прекратится снижение цен. Пренебрегая такими исключениями, мы будем считать, что в течение всего периода снижения цен товар вообще не покупают.

Наконец, снижение цен прекращается, что может произойти лишь тогда, когда все продавцы назначили цены, равные своей себестоимости. (Напомним, что на плоскости (S, P) цена i -го продавца изображается наклоном прямой O_i к оси P , см. рис.2). Тогда покупатели начинают покупать товар, и продолжают делать это до полного удовлетворения сезонной потребности P , причем они придерживаются правила 3, то есть покупают по наинизшей возможной цене. Это значит, что из всех присутствующих продавцов они выбирают того, у которого прямая O_i выше всех других. Итак, в течение первого сезона весь товар будет продан по себестоимости.

Для исследователя это значит, что продавцы, принадлежащие области A , полностью удовлетворили спрос на пшеницу – и он мог предвидеть заранее, кто ее продаст, потому что уже провел на своей диаграмме прямую

R! Но и производитель, продавший свой товар, знает уже, что он сможет продать его и в следующем сезоне: в самом деле, он видел, что после него покупали еще у других, по цене выше его себестоимости, а значит потребность в товаре еще не была удовлетворена. Те, кто не оказался в числе последних продавших свой товар, имеют основания полагать, что если потребность в товаре не изменится, они будут "нужны" и в следующем сезоне: они убедились, что не разорятся. (На языке кальвинистов, первых адептов свободного рынка, они убедились, что принадлежат к числу "избранных"; на языке нашей диаграммы – что они входят в область A).

Поэтому во втором сезоне (и во всех следующих) все продавцы назначат наивысшую цену, по которой еще продавался товар, то есть наивысшую себестоимость в области A, равную C_0 . Как мы помним, эта себестоимость равна наклону прямой R к оси P. Остается объяснить, почему продавцы, продавшие свой товар в первом сезоне, не назначают более высоких цен, чем C_0 – ведь они знают, что их товар необходим и будет куплен! Причина этой сдержанности продавцов состоит в том, что на практике все еще остаются производители, себестоимость которых несколько выше C_0 , но которые еще не ушли с рынка, надеясь поправить свои дела в следующем году. Поэтому и во втором сезоне конкуренция все еще существует: если бы удачливые продавцы прошлого сезона назначили цену C^* выше C_0 , то нашлись бы продавцы из области B, с участками вблизи прямой R, которые могли бы назначить цену ниже C^* , хотя и выше своей себестоимости. Таким образом, дальнейшее повышение цен предотвращается как раз существованием самых неудачливых производителей, борющихся за свое "выживание".

Итак, C_0 становится установившейся ценой данного рынка – в нашем случае рынка пшеницы. Естественно, она меняется, если меняется состав обрабатываемых участков или полная потребность в зерне.

Вернемся теперь к постулатам свободного рынка и к их связи с рыночным поведением. Как уже было сказано, эти постулаты составляют необходимые условия рыночного поведения, но не достаточные условия, то есть не определяют это поведение. Аналогия с физикой может прояснить существующее здесь положение (хотя это и не слишком близкая аналогия). В физике основные законы природы – так называемые "законы сохранения" – тоже имеют характер запретов: энергия системы не может исчезнуть или возникнуть из ничего, импульс или момент не могут измениться, и т.п. Но эти запреты не определяют динамику системы, выражаемую законами

иного рода – описывающими причины движения тел. В процессе движения, подчиняющегося динамическим законам, соблюдаются все законы сохранения; но сами по себе законы сохранения не описывают, что в действительность происходит с системой. Конечно, законы сохранения справедливы лишь для "замкнутой" системы, не подверженной влиянию посторонних сил; такая система аналогична свободному рынку.

Моральная оценка "правил рыночного поведения" не относится к экономическому анализу, занимающемуся только реальными фактами хозяйственной жизни. Конечно, с точки зрения классического джентльмена стремление продать подороже и купить подешевле не было высоким мотивом поведения; дальше мы увидим, впрочем, как складывалась его рента, дававшая ему возможность проявлять такое высокомерие. Рыночное поведение находится также в резком противоречии с учением христианской религии, изложенным в Нагорной Проповеди, и с происходящими от него взглядами социалистов и русских интеллигентов. Мы упоминаем об этом потому, что тип человека, складывающийся в рыночных отношениях, может не понравиться нашему читателю. Но, как мы увидим, свободный рынок, с его мотивами поведения, способен обеспечить рост материального благополучия – если не всех членов общества, то, в некотором смысле, "общества в целом".

Рента

Мы подошли теперь к понятию ренты. Рассмотрим опять пример производства пшеницы. Производитель i имеет затраты S_i и урожай P_i , а продает зерно по установившейся рыночной цене $C_0 = S_0/P_0$. Так как $P_i = P_0$ (рис.3), то $S_0 = P_0 C_0 = P_i C_0$, и если обозначить через C_i себестоимость килограмма зерна на участке i , то $C_i = S_i/P_i$, откуда $S_i = C_i P_i$. Горизонтальный отрезок между точками i , i_0 имеет длину $S_0 - S_i$, и поскольку $P_i = P_0$, получаем

$$S_0 - S_i = P_0 C_0 - P_i C_i = P_i (C_0 - C_i).$$

Этот отрезок измеряет разницу между затратами на i -ом участке и на "самом худшем" участке с той же производительностью, но с более высокой себестоимостью – то есть участке i_0 . Из формулы, определяющей рыночную цену, мы нашли, что $S_0 = P_0 C_0$ или, что то же, $P_i C_i$; но это не что иное как полная выручка i -го производителя от продажи P_i кг зерна, полученных на его участке, по рыночной цене C_0 рублей за килограмм. Таково истолкование S_0 . Что касается S_i , вычитаемого из этой выручки, то это число есть полная сумма затрат i -го производителя на выращивание зерна. Стало быть, разность $S_0 - S_i$ представляет собой доход, получаемый i -ым производителем за один только факт владения лучшим участком – в самом деле, производитель i_0 получает тот же урожай (так как $P_0 = P_i$), но несет большие затраты. Величина $S_0 - S_i$ называется рентой i -го участка и обозначается DS_i (D заменяет здесь слово "рента", а не является множителем!). Еще раз напомним, что рента геометрически изображается отрезком ii_0 (рис.3).

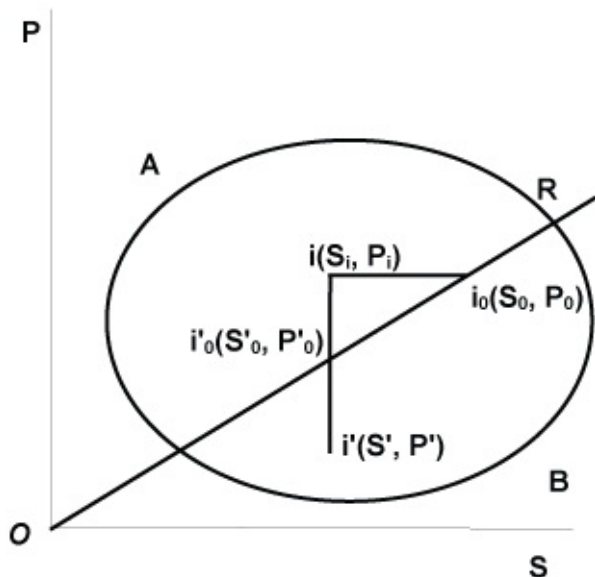


Рис.3

Теперь представим себе, что владелец i -го участка, перестав на нем работать, сдает его в аренду. Для этого он находит владельца участка i' в области В (рис.3), который, как мы увидим, вообще не может прожить на продажу своего урожая, имея ту же величину затрат S' (равную S_i), но меньший урожай (P' меньше P_i). В самом деле, владелец участка i' вынужден продавать свой урожай по установившейся цене C_0 и получает выручку $P'C_0$, которая не только меньше выручки с участка i , но даже меньше выручки самого неудачливого из владельцев "рентабельных" участков с теми же затратами – участка i'_0 (см. рис.3); действительно, этот последний получает за свой урожай P'_0C_0 рублей, что больше $P'C_0$. Но, как мы уже видели, владельцы участков на прямой R продают свой урожай по себестоимости, которая и составляет рыночную цену C_0 ; в частности, для владельца участка i'_0 себестоимость S'_0/P'_0 равна C_0 . Сравнивая с ним владельца участка i' , себестоимость которого есть S'/P' , мы видим, что $S' = S'_0$, но $P' < P'_0$, откуда

$$\frac{S'}{P'} > \frac{S'_0}{P'_0}$$

(у правой части тот же числитель, но больший знаменатель). Так как правая часть этого неравенства есть C_0 , производитель i' имеет себестоимость выше рыночной цены, то есть не окупает даже своих трудовых затрат! Весьма вероятно, что он согласится на предложение владельца участка i взять у него в аренду этот участок за годовой доход S_i ,

равный S' (или, что то же, его прежним трудовым затратам).

Так как $S' = S_0'$, он будет получать по арендному договору тот же доход, как хозяин участка i_0' (см. рис.3), работающий за себестоимость своего урожая, как и все владельцы участков на граничной прямой R ; а так как $S_i = S_0'$, то и трудовые затраты арендатора на участке i будут те же, что у хозяина i_0' . Таким образом, бывший владелец участка i' окажется, как арендатор, в том же положении, как один из наименее удачливых хозяев i_0' на границе "области рентабельности" A .

Но участок i дает в действительности выручку $P_i C_0$, равную $P_0 C_0$ (потому что $P_i = P_0$), а это произведение есть S_0 , так как из $C_0 = S_0/P_0$ следует $P_0 C_0 = S_0$. Из этой суммы арендатор получит свой условленный доход S_i . Остальную часть этой выручки, то есть ренту $DS_i = S_0 - S_i$, арендатор согласится отдавать владельцу участка i в качестве арендной платы.

Таким образом, согласие на арендную плату DS_i зависит от выведенного выше неравенства, которое означает, что себестоимость выше рыночной цены. Но себестоимость равна S/P ; предыдущее неравенство равносильно тому, что

$$\frac{P'}{S'} < \frac{P_0'}{S_0'},$$

а это значит, что наклон прямой Oi' к оси S меньше наклона прямой R . Стало быть, аренду можно предложить только хозяевам из области B ! Поскольку вблизи граничной прямой R указанное неравенство близко к равенству, владелец i -го участка может потребовать большую арендную плату лишь с особенно злополучных хозяев, участки которых далеки от граничной прямой R . Таким образом, рента $DS_i = S_0 - S_i$ представляет "гарантированную" минимальную величину дохода от аренды i -го участка.

Что касается владельца i -го участка, то, сдав этот участок (временно!) в аренду, он начинает получать с него ренту, ничего не делая. Конечно, типичный лендлорд владеет не одним участком площадью в гектар, а многими такими участками, на ренту с которых он ведет приличествующий ему образ жизни. Так, начиная с появления ренты, возникает возможность эксплуатации человека человеком. Смысл этого выражения в том, что человек, не владеющий некоторым средством производства (земля, фабрика и т.д.), пользуясь им, работает и производит продукцию, тогда как другой, юридический собственник этого средства производства, не работает, но

получает долю выручки от продажи этой продукции. В случае аренды сельскохозяйственных угодий, когда вся забота о земле лежит на арендаторе, а землевладелец попросту ничего на этой земле не делает, паразитический характер такого образа жизни вызывает особое возмущение. Впрочем, лендлорд может играть заметную роль в хозяйстве, если он в той или иной степени следит за состоянием арендуемой у него земли – лично или через своего управляющего – и сменяет нерадивого арендатора, не заботящегося о сохранении качества земли. В России помещики далеко не всегда были полезны и в этом отношении, так как они очень часто сдавали землю "испольщикам", то есть за половину урожая, и были заинтересованы лишь в наибольшем текущем доходе; в таких случаях недобросовестный арендатор и землевладелец могли быть одинаково недальновидны в хищнической эксплуатации земли.

Описанный выше способ извлечения земельной ренты можно считать феодальным, хотя она и возникает из рыночных отношений. Феодалы-землевладельцы получали таким образом свою ренту задолго до возникновения капитализма и, конечно, размер их ренты зависел от рынка сельскохозяйственных продуктов. Арендатор, эксплуатируемый лендлордом, – это не наемный рабочий; он находится в гораздо лучших условиях, так как сам принимает хозяйственные решения, располагает своим временем по собственному усмотрению и живет со своей семьей, помогающей ему в работе, – правда, чаще всего в доме, принадлежащем лендлорду. Все это делает его жизнь гораздо более здоровой, и гораздо лучше отвечает его человеческому достоинству, чем жизнь рабочего на капиталистическом предприятии.

Мы не будем входить здесь в аргументацию авторов, готовых осудить паразитизм лендлордов, но склонных оправдывать "капиталиста" как "организатора производства". В нашем простейшем примере выращивания товарной пшеницы такой "капиталист" не сдает свой участок в аренду, а сам принимает хозяйственные решения, но работу выполняют наемные работники-батраки. Труд батрака оценивается ниже, чем соответствующая доля труда арендатора, поскольку он сам "не ведет хозяйства". Оплата батраков, естественно, входит в затраты производства, так что и в этом случае собственник получает ренту – обычно меньшую, чем если бы он работал сам, но бо'льшую, чем если бы сдал землю в аренду: иначе у него не было бы мотива вместо аренды нанимать батраков.

Теперь представим себе, что человек, желающий получать доход от сельского хозяйства, покупает участок i , чтобы сдать его в аренду. Пусть r – средняя норма прибыли в сельском хозяйстве: это значит, что средний

годовой доход от капиталовложений в сельское хозяйство составляет $p\%$ от вложенного капитала. Тогда покупатель участка, естественно, захочет, чтобы его капиталовложение, то есть цена C этого участка, давала ему в точности тот же процент дохода, то есть $(p/100)C$ рублей в год. Этот доход будет рентой с участка i , так что

$$DS_i = (p/100) \times C,$$

откуда

$$C = DS_i \times 100/p.$$

Таким образом определяется рыночная цена земли. Известно, что норма прибыли в сельском хозяйстве составляет в наше время 7-8%. В промышленности норма прибыли выше – 10-11%, и возникает вопрос, почему находятся желающие вкладывать деньги в сельское хозяйство. Причина здесь в том, что доход от промышленных предприятий не столь надежен и менее продолжителен, потому что их оборудование устаревает за 8-10 лет, и для его обновления нужны новые капиталовложения. Другим действующим мотивом является желание передать надежный источник дохода своим детям. Этот мотив, в былые времена очень сильный, теперь чаще всего сохраняется в отсталых феодальных странах, а в развитых странах Запада вытесняется эгоизмом текущего поколения – о чем еще будет речь дальше.

Изменение численности населения

До сих пор, рассматривая рыночный механизм и образование цен по диаграмме рисунка 1, мы считали население, потребляющее производимый товар, постоянным. Если население возрастает, то при неизменном фонде обрабатываемых участков ("облако точек" на рис.1) требуется засеять большее число их, а следовательно повернуть прямую R на больший угол с осью P . Но тогда отношение $C_0 = S_0/P_0$ возрастет, то есть рыночная цена зерна повысится. Напротив, уменьшение населения вызывает удешевление зерна. Влияние роста населения можно проследить, следуя классическим образцам – начиная с Робинзона Крузо. На его острове будет некоторое число участков, пригодных для посева, и Робинзон выберет, разумеется, лучшие из них, чтобы иметь минимальные затраты труда на единицу продукции. Соответственно этому он составит диаграмму рисунка 1 и проведет прямую R так, чтобы выше ее оказались участки с требуемой для его пропитания производительностью. После появления Пятницы им придется больше работать: прямая R приблизится к оси S . Но с ростом населения производительность труда, вследствие кооперации, растет, то есть затраты труда на единицу продукции S/P убывают (рис.4). При чрезмерном росте населения приходится использовать все менее выгодные участки, и себестоимость снова возрастает: становится все труднее прожить. (Заметим, что рис. 4 относится к ситуации, когда рост населения не сопровождается радикальными изменениями в технике производства – например, в результате изобретений и открытий).

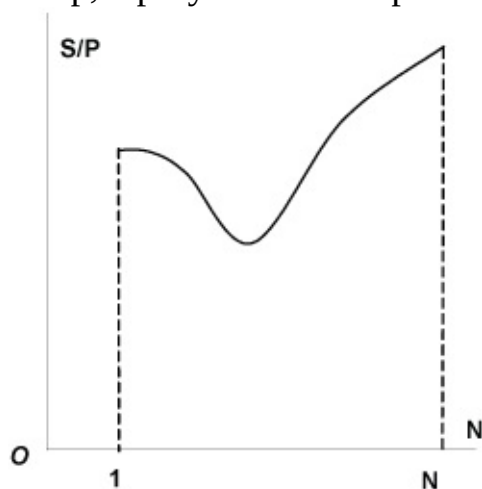


Рис.4

В жизни животных сообществ ренте соответствует выгодность. Табун

лошадей или стадо буйволов с возрастанием числа особей быстрее потребляют траву и должны перемещаться на менее выгодные участки, так что поиск пропитания становится все более трудоемким; с другой стороны, бо'льшая численность требуется для защиты от волков. Аналогично, птицы и насекомые, в отдельности беззащитные, для защиты от хищников объединяются в стаи: правдоподобные гипотезы о механизмах такой защиты выдвинул Конрад Лоренц. Замечательный пример расширения используемых площадей представляют нашествия саранчи. Как уже говорилось, саранча – вид, близко родственник обычным кузнечикам. Если плотность популяции таких кузнечиков (например, живущих в монгольских степях) где-нибудь возрастает выше некоторой границы, им не хватает для пропитания имеющихся площадей. Тогда у них вырастают крылья (редуцированные у обычных кузнечиков), и образуются стаи саранчи, способные облетать огромные площади, пожирая на них растительность. Затем они разлетаются в разные стороны и снова живут, как кузнечики. Все эти явления объясняются "экономическими" причинами – стремлением к наилучшему использованию доступных для эксплуатации участков, то есть к увеличению "ренды".

Таким образом, разница в затратах на единицу продукции была важна уже в животном мире, а в человеческом обществе существовала задолго до появления помещиков; она и легла в основу ренты. Максимум рентабельности может повыситься с изобретением новых видов производства, что позволяет большему сообществу выжить на той же территории. Это один из факторов превращения первоначальных групп в племена, а затем и в миллионные нации, такие, как египтяне и китайцы.

Возникновение класса помещиков, получающих ренту, вызывает реакцию недавних членов племени, считающих этих людей паразитами. Помещичье землевладение имеет то преимущество, что помещик заинтересован в улучшении земли применением правильной агротехники. Поэтому он будет заключать с арендаторами временные договоры, сменяя их в случае недобросовестного отношения к земле. Помещичьему землевладению противостоит другая система землепользования – общинное хозяйство, в котором нет частной собственности на землю, и периодические переделы участков осуществляют племенной идеал "социальной справедливости". Рента при этом "размазывается" по всей общине, чтобы никто не был обижен. Общинная система хозяйства, когда-то свойственная всем индоевропейским народам, долго уживалась с возникшим позднее помещичьим землевладением: помещик становился – вследствие завоевания или "пожалования" государем – формальным

собственником земли, а ранее существовавшая племенная община – ее "коллективным пользователем", платившим помещику ренту. Такая система очень долго сохранялась в России, где она дожила до двадцатого века под названием "мир"; думали даже, что это специфически русское явление, и пытались строить на нем социологические теории, подчеркивавшие своеобразие русского народа. Но работы немецких историков показали, что такая же система землепользования существовала в средневековой Германии, а знаменитый английский историк права Г.Мейн описал ее в Индии, где она существует и по сей день, когда русского "мира" больше нет. Слабая сторона общинного землевладения состоит в том, что "размазывание" ренты делает крестьянина безразличным к качеству земли, поскольку переделы не дают ему воспользоваться плодами улучшений. Поэтому общинные земли становились все хуже, тогда как земли, непосредственно эксплуатируемые помещиком с помощью индивидуальных арендаторов или батраков, могли улучшаться. В наше время наилучшие результаты дает "фермерское" землевладение, где каждый владелец обрабатывает свою землю – силами семьи или наймом небольшого числа работников. Эта система приблизительно соответствует рисунку 1, в предположении отсутствия паразитов-лендлордов.

Качество товаров

Как только мы начинаем учитывать качество товаров, немедленно возникает разница между «железной рукой рынка» и различными возможностями «управления» производством и потреблением методами нерыночной экономики. До сих пор мы пренебрегали в нашем экономическом анализе качеством товаров. Один и тот же товар, удовлетворяющий ту же потребность, может быть разного качества; например, различают 800 градаций качества пшеничной муки. Важнейший недостаток экономической схемы Маркса состоял в том, что в ней не было качества! Маркс предполагал, что каждый товар имеет некоторое "среднее" качество: в частности, это относилось и к рабочей силе, которую он рассматривал, следуя Рикардо, как товар. "Среднее рабочее время, общественно необходимое для производства товара", служило у Маркса мерой "стоимости товара", так что у него усреднялись и все различия в квалификации и тщательности труда. Возможно, именно трудности, связанные с качеством, помешали ему окончить третий том "Капитала", наброски которого были опубликованы Энгельсом уже после его смерти. Вообще, склонность ограничиваться средними значениями, не учитывая "разброса" величин (на математическом языке – "дисперсии") фатальным образом отразилась на судьбе построений Маркса: достаточно вспомнить роль его концепции "классово обусловленного" мышления и поведения.

Что же такое качество? Качество тесно связано с разработанным Дж. фон Нейманом понятием полезности. Полезность товара может быть определена с помощью безденежного обмена и учитывает не только свойства самого товара, но также потребности и вкусы его возможных покупателей. Если два товара удовлетворяют приблизительно одну и ту же потребность, то можно установить соотношение их полезностей, предлагая потребителям обменивать один из них на другой. Если, например, на рынке имеются водка и пиво, то может оказаться, что потребители алкогольных напитков согласны обменивать одну бутылку водки на три бутылки пива: в таком случае бутылке водки приписывается та же полезность, что и трем бутылкам пива. Разумеется, у отдельного потребителя могут быть случайные предпочтения, влияющие на такой обмен, но вся масса потребителей проявляет очень устойчивые склонности, позволяющие вывести такие соотношения эквивалентности. Сложнее обстоит дело с разнородными товарами, но фон Нейман предположил, что во всех случаях

возможно установить количественные эквиваленты, по которым обмениваются товары (имеется в виду безденежный обмен, не привлекающий понятия цены!). Таким образом, взяв какой-нибудь "стандартный" товар и обменивая его на всевозможные другие, можно установить для всех товаров шкалу относительной полезности, выразив их полезности в числах: если "стандартный" товар – бутылка водки, то полезность бутылки пива оценивается числом $1/3$ (а полезность телевизора такой-то марки, предположим, числом 1000). При этом возникает проблема "транзитивности": при переходе к другому "стандартному" товару численные значения полезностей, конечно, меняются; но фон Нейман предположил, что для данного круга потребителей (например, данного этноса, или данной страны) полезности, найденные по различным "стандартным" товарам, пропорциональны, так что можно, как это обычно делается при измерениях, произвольно выбрать в качестве единицы некоторое количество любого товара.

То, что обычно понимается под "качеством" товара, тесно связано с его полезностью, но не тождественно с нею. Например, может оказаться, что в стране с мусульманским населением никто не заинтересован в алкогольных напитках (даже для перепродажи, поскольку в некоторых мусульманских странах ограничена и может строго караться даже продажа этих товаров немусульманам). В этих условиях алкогольным напиткам придется приписать очень небольшую полезность; между тем товар может быть, в обычном понимании, высокого "качества". Такой рынок не является вполне свободным, ввиду указанных государственных ограничений, и если он существует в такой стране и ограничен этой страной, очень быстро приведет к исчезновению подобного продукта из продажи. Основное допущение относительно качества, которое мы примем в дальнейшем, состоит в том, что при свободном рынке качество предлагаемых для продажи товаров совпадает с их полезностью. В общем случае эти понятия не совпадают, и качество товаров оказывается предметом трудных исследований, называемых "квалиметрией"; но в интересующем нас случае свободного рынка их можно не различать, и мы будем попросту называть качеством товара его полезность, определяемую по фон Нейману процедурами обмена, то есть безденежным путем. Поэтому связь между качеством товара и его рыночной ценой – если такая связь обнаруживается – нетривиальна: эти две величины имеют независимые способы измерения. Тем самым нетривиально следующее предположение, которое мы включаем теперь в определение свободного рынка: цена товара пропорциональна его качеству. Поскольку мы исследуем теперь

образование цен с учетом качества товаров, прибавим к перечисленным выше постулатам свободного рынка следующее требование:

5. Каждый продавец правильно сообщает качество своего товара и назначает цену, пропорциональную этому качеству.

Конечно, следует повторить все оговорки по поводу допускаемой здесь идеализации рынка. Государственный контроль, реклама, сговор продавцов или покупателей и т.п. делают все реально существующие рынки не свободными; но это не препятствует применять абстракцию свободного рынка в экономических исследованиях. Точно так же, можно изучать форму реальных тел, пользуясь "идеальными" геометрическими понятиями линии и поверхности, или движение достаточно малых тел, пользуясь "идеальным" физическим понятием "материальной точки".

Численная величина качества, получаемая из обменных процедур фон Неймана, относится к определенной единице этого товара (например, к одному килограмму), а не к этому товару вообще. Здесь возникает расхождение между обиходным и научным употреблением слова "качество". Если, например, за эталонный товар принимается бутылка водки, а единицей товара "пиво" является одна бутылка пива, то качество пива принимается равным $1/3$. Таким образом, выражение "качество такого-то товара равно числу Q " означает, что в обменных процедурах за условную единицу этого товара (например, за килограмм пшеницы) дают Q стандартных единиц товара-эталона. Иногда мы будем выражаться так, как будто в каждом килограмме пшеницы заключается Q "единиц качества". Повседневная речь только упорядочивает по качеству сходные товары, но не дает их "качеству" численного значения, и тем более не сравнивает "качества" разнородных товаров.

Рассмотрим теперь опять пример рынка пшеницы, но с учетом ее качества. Пусть опять имеется n участков, засеваемых пшеницей, причем производительность i -го участка составляет P_i кг, а трудовые затраты на i -ом участке равны S_i . Качество в расчете на 1 кг пшеницы обозначим через Q (напомним, что качество, определяемое обменными процедурами по фон Нейману, пропорционально количеству однородного товара – полезность двух бутылок водки вдвое больше полезности одной, а качество отождествляется с полезностью!).

Качество килограмма пшеницы, выращенной на i -ом участке, обозначим через Q_i . Подчеркнем, что теперь пшеница, выращенная на разных участках, не одинакова! Найдем себестоимость одного килограмма пшеницы, выращенной на i -ом участке:

$$C_i = S_i/P_i.$$

Построим на плоскости (C, Q) изображения всех участков i точками с координатами (C_i, Q_i) (рис.5, где у каждой точки i с координатами C_i, P_i указаны три числа Q_i, S_i, P_i , и координата C_i равна отношению S_i/P_i):

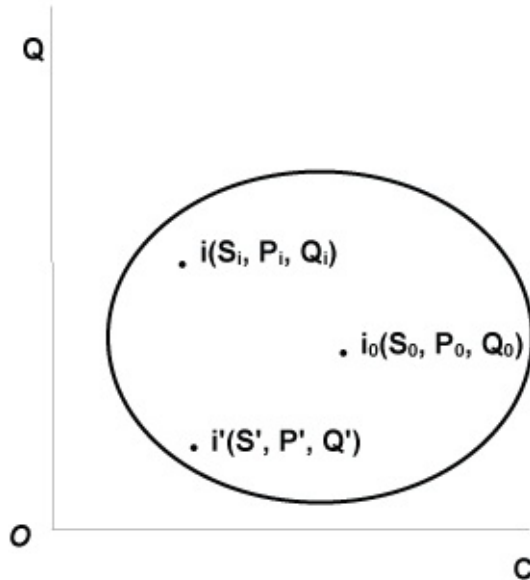


Рис.5

Как и в случае рис.1, эти точки образуют "облако", представляющее всех выходящих на рынок производителей – предполагая еще, что для каждого из них указана также соответствующая производительность участка P_i . Общая продукция всех участков, если они все засеваются, равна

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n.$$

Если среднее потребление пшеницы на душу населения равно P_0 кг, то для удовлетворения всех потребностей нужно количество

$$P = NP_0$$

килограммов, где N – численность населения. Как и раньше, мы предположим, что нужное количество зерна может быть выращено, то есть что

$$P > P.$$

Возникает вопрос, какие из участков имеет смысл засевать – если принять в виде критерия, что единица качества должна иметь возможно меньшую себестоимость. Но прежде чем перейти к этому основному вопросу, рассмотрим два варианта "нерыночного" распределения товара, неоднократно применявшиеся в разных странах, в том числе в СССР (и, например, английским правительством во время Второй мировой войны).

Предположим сначала, что мы хотим накормить население "как можно

дешевле" – что и было задачей советских плановых организаций в годы "пятилеток". Тогда надо, пренебрегая качеством, передвигать вертикальную прямую V на рисунке 6 вправо, начиная с оси Q , до того момента, когда слева от этой прямой и на ней самой окажется ровно столько точек i , чтобы общая производительность соответствующих участков была равна потребности P .

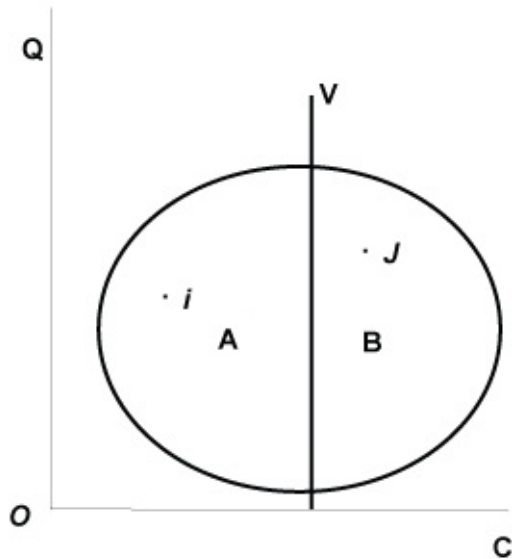


Рис.6

Упомянутые точки составят тогда область A , изображающую участки, где выращивается более дешевый хлеб; а справа от прямой V останутся участки с более дорогим хлебом. В соответствии с принятым критерием ("накормить как можно дешевле", т.е. с наименьшими затратами труда) надо, естественно, засеять только участки области A , оставив участки области B незасеянными. Так и осуществлялось планирование в годы советских "пятилеток" – конечно, не только в отношении пшеницы.

Ясно, что цена C_0 , по которой при таком способе хозяйствования надо продавать пшеницу (если она продается по стоимости всех трудовых затрат, то есть по "себестоимости для государства") определяется из уравнения

$$PC_0 = P_1C_1 + P_2C_2 + \dots + P_mC_m,$$

где справа стоит сумма трудовых затрат на всех участках области A , то есть полная сумма затрат на выращивание пшеницы, а слева – сумма, уплачиваемая всеми потребителями за продаваемые им P кг пшеницы. При этом сумма всех P_i по точкам области A как раз равна P – согласно выбору этой области – и нетрудно показать, что C_0 не превосходит наибольшей из себестоимостей C_i , входящих в правую часть (читателю предоставляется

вывести это из предыдущего равенства). Конечно, уравнение, послужившее нам для вычисления C_0 , предполагает, что пшеница продается по себестоимости, а не дороже: иначе вместо равенства в нем стоял бы знак $>$, а разницу тратили бы по своему усмотрению государственные чиновники, установившие цену на хлеб.

Наиболее интересная черта этой ("социалистической") системы хозяйствования состоит, однако, в другом. Дело в том, что при таком образе действий единая цена на дешевый товар (C_0) игнорирует его качество Q , никак не отразившееся на установлении этой цены. Но потребителям отнюдь не все равно, каково будет качество проданного им товара. Они прибегнут ко всевозможным хитростям, чтобы "достать" по этой цене самый высококачественный товар. Хлеб с таких "наилучших" участков, как j (рис.7), несомненно, достанется чиновникам, распределяющим все товары – в качестве незаслуженной добавочной награды за их служебный статус. Хотя и говорилось о том, что стоит задача накормить всех как можно дешевле – с наименьшими затратами труда – в рамках "социалистической" системы хозяйствования далеко не всегда достигается даже экономия трудовых затрат. Дело в том, что товары более высокого качества лучше удовлетворяют потребности (например, хорошие ботинки можно носить несколько лет, а плохие могут развалиться в пару недель). Полностью игнорируя качество или учитывая его лишь формально и ориентируясь только на минимизацию текущих трудовых затрат, можно прийти к высокой производительности в изготовлении плохих вещей, так что работать и производить будут много, а потребности все равно не будут удовлетворены. Если качество пропорционально способности вещи удовлетворять некоторую потребность, то именно свободный рынок (см. ниже) соответствует идее удовлетворения потребностей общества при минимуме трудовых затрат, то есть в этом случае свободный рынок и действительно оптимальное планирование – о котором будет речь в главе 9 и которое очень трудно – просто приводят к одним и тем же рекомендациям.

Возвращаясь к обсуждению модели "социалистического" хозяйствования, отметим, что при такой системе чиновники поступают хитрее, чем было описано выше. Вначале они попросту забирают себе, по какой-нибудь произвольно установленной цене, нужное им количество товара наивысшего качества (у нас это были пресловутые "цены 1929 года"), причем трудовые затраты на изготовление этих высококачественных товаров никого не интересуют. Наглядно это значит, что от "облака" точек i

они отрезают себе верхнюю "горбушку", содержащую нужное им количество товара (рис.7).

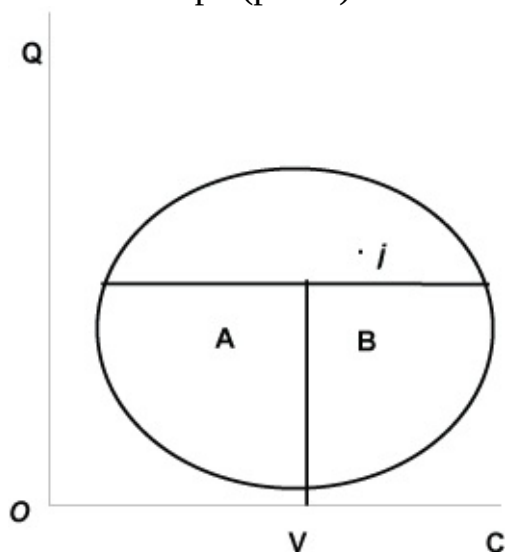


Рис.7

И затем уже оставшийся товар они пускают в продажу по принципу "накормить всех как можно дешевле", предоставляя своим менее привилегированным согражданам ухитриться достать более "качественный" товар. Это значит, что на рис.7 удаляются все точки верхней "горбушки", а затем к остатку "облака" применяется процедура рисунка 6. В эпоху "развитого социализма" число привилегированных чиновников разного ранга достигло у нас (не считая членов их семей!) 19 миллионов человек. Ясно, что страна не могла вынести это чудовищное бремя паразитизма, и рано или поздно должен был наступить экономический и социальный крах. "Реформаторы" (имеются в виду не те из них, кто попросту пользовался сложившейся в стране ситуацией в личных целях) лишь пытались исправить это положение, созданное до них другими, – и пытались крайне неудачно. Поскольку все ныне существующие системы экономически сочетают рыночные и нерыночные компоненты, крайне важен демократический контроль над чиновниками.

Теперь мы перейдем к рассмотрению свободного рынка в новом понимании – с учетом качества товара. Начнем опять с рисунка 5, изображающего "облако" участков i , где можно сеять пшеницу, с производительностью P_i кг на i -ом участке. Пусть качество зерна на i -ом участке измеряется числом Q_i , а трудовые затраты на этом участке равны S_i рублей. Тогда себестоимость 1 кг пшеницы на i -ом участке составляет

$$C_i = S_i/P_i.$$

Напомним, что рынок предполагается идеально свободным (без

скверной рекламы, без организации дефицитов, и т.п.). Как мы предположили, при этом выполняются формулированные выше условия 1 – 4 и, в частности, цена товара должна быть пропорциональна его качеству. Задача, которую решает свободный рынок, состоит в том, чтобы сделать единицу качества как можно дешевле (отсюда вытекает также и уже упоминавшаяся экономичность использования трудовых ресурсов – поскольку качество пропорционально способности товара удовлетворять определенную потребность). Как можно видеть, решение этой задачи достигается следующим образом (ср. приведенные выше рассуждения в случае постоянного качества, где применяется тот же прием).

Чтобы выбрать наиболее выгодные участки, которые надо засеять пшеницей, проведем на плоскости (C, Q) (рис.8) прямую V , проходящую через начало координат, и будем вращать ее по часовой стрелке от оси Q к оси C до тех пор, пока общая производительность всех участков i , изображаемых точками выше прямой V и на ней самой, не станет равна полной потребности в пшенице P . (мы по-прежнему предполагаем, что может быть выращено больше пшеницы, чем требуется, т.е. что $P = P_1 + P_2 + \dots + P_n$ больше P). Соответствующие точки i образуют область A , остальные же точки j – область B .

Процесс установления цены, подобный описанному выше, можно представить себе следующим образом (мы несколько упрощаем здесь это описание, поскольку детали его были приведены выше, в случае постоянного качества). В начале работы рынка покупатели получают товар по себестоимости C_i (рублей за килограмм); каждый ищет продавца с наибольшим значением Q_i/C_i , то есть стремится купить на рубль как можно большее качество пшеницы.

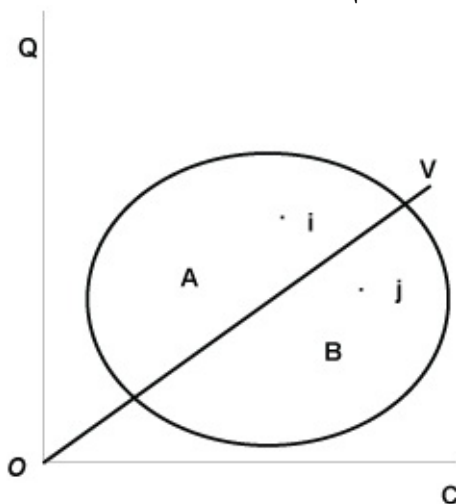


Рис.8

Но отношение Q_i/C_i есть наклон прямой O_i к оси C ; значит, вначале покупатели ищут точки i с наибольшим возможным (в пределах "облака") значением Q/C . Покупатели, пришедшие на рынок позже, вынуждены довольствоваться участками с меньшим значением Q/C и, наконец, когда вся пшеница с засеянных участков оказывается купленной, то последние покупатели получают ее по цене, соответствующей участкам прямой V , то есть по цене, равной себестоимости на одном из этих участков, например, участке i_0 . Пусть она равна C_0 рублей за килограмм. Тогда цена единицы качества для такого покупателя составит C_0/Q_0 , где Q_0 – качество пшеницы на участке i_0 (заметим, что это отношение одно и то же для всех участков прямой V). Величина C_0/Q_0 и есть цена единицы качества, которая и устанавливается в дальнейшем в виде рыночной цены для данного рынка. Обозначим эту цену через Z_0

$$Z_0 = C_0/Q_0$$

Таким образом, «невидимая рука рынка» минимизирует вовсе не цену товара, а цену единицы качества.

Обращаясь к вопросу о ренте, поставим вопрос: что может повлиять на ренту, кроме себестоимости C ? Возьмем на плоскости (C, Q) рисунка 9 участок i в области A . Предположим, что в области B найдется участок i' примерно с той же производительностью, что и на участке i , но, как видно из рисунка 9, с меньшим значением качества, чем в i . Владелец участка i' , вероятно, согласится на предложение владельца участка i взять у него в аренду этот участок за доход с 1 кг зерна, соответствующий *более высокому качеству зерна*, чем на его прежнем участке i' . А именно, по арендному договору за каждый килограмм урожая с участка i арендатору будет оставаться стоимость килограмма зерна с участка i_0' , лежащего на пересечении вертикали $i'i$ с прямой V (см. рис.9): качество этого зерна выше, чем на участке i' , но ниже, чем на участке i . Тогда, как мы покажем, арендатор будет поставлен в условия наиболее неудачливых хозяев "рентабельной" области A – таких, как владелец i_0' .

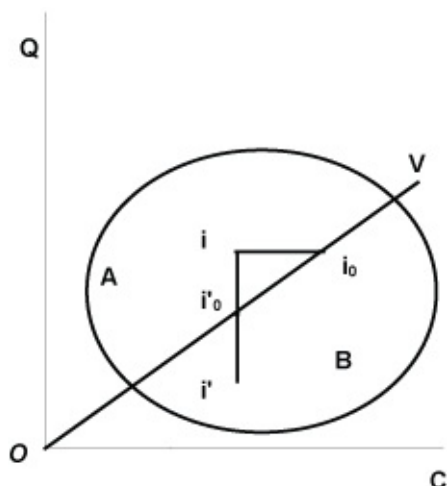


Рис.9

Как мы видели, для всех участков на прямой V отношение C/V одно и то же и равно рыночной цене единицы качества Z_0 . В частности, если для участка i_0' себестоимость равна C_0' , а качество – Q_0' , то

$$\frac{C_0'}{Q_0'} = Z_0.$$

откуда $C_0' = Z_0 Q_0'$. С другой стороны, $C_0' = C' = C_i$ (см. рис.9), так что и $C_i = Z_0 Q_0'$, а это не что иное как выручка владельца i_0' за 1 кг его зерна. Столько же, по договору, получит арендатор с 1 кг зерна участка i . Но полная выручка за 1 кг с участка i , при качестве Q_i , будет $Z_0 Q_i$. Если провести через точку i горизонталь до пересечения с прямой V в точке i_0 (см.рис.9), то качество Q_i в точке i равно Q_0 , так что полная выручка за 1 кг зерна с участка i составляет $Z_0 Q_0$ – а это как раз себестоимость C_0 на участке i_0 (см. определение цены Z_0). Итак, владелец участка i выручает от продажи 1 кг зерна C_0 рублей, а отдает арендатору C_i рублей.

Разность

$$DC_i = C_0 - C_i$$

и есть рента на участке i – сумма, которую владелец этого участка присваивает из каждого килограмма урожая, после того как арендатор получит свой условленный доход C_i . Геометрически рента изображается на рис.9 отрезком ii_0 .

Из рисунка 9 видны способы увеличения ренты: надо либо снизить себестоимость продукции (сдвинув точку i влево), либо повысить ее качество (сдвинув ее вверх). Вторым из этих путей пошли японцы после второй мировой войны, с 1945 года: они решили повысить качество своих

товаров. Для этого у них был дешевый, высокий по качеству труд, и много инженеров высокой квалификации перешло из военно-промышленного комплекса в мирное производство. Качество в военной промышленности было выше, чем в мирной.

Японцы использовали значительную часть оставшихся у них валютных активов для приобретения лицензий: вместо длительного, непрерывного повторения иностранных изобретений и технических разработок ("ноу-хау"), как это делалось в Советском Союзе, они закупили новейшую доступную информацию и начали дальнейший прогресс с того места, которого он достиг в передовых странах. Продажа лицензий есть тоже вид ренты, и японцы уплатили эту ренту – своим победителям.

В итоге японцы добились высокого качества, в сочетании с низкой себестоимостью, в ряде областей промышленности – кораблестроении, электронике, производстве автомобилей и т.д. Полученную ренту они использовали на перевооружение промышленности, на повышение жизненного уровня населения (в 5-6 раз за полстолетия) и на реорганизацию экологии. В этой маленькой стране не было места, куда бежать богатым, и от промышленного загрязнения падала стоимость земли. Очень рано (уже с 1955-60 годов) японцы начали массовые посадки леса в горных районах.

Резюмируя, можно указать три способа возникновения ренты:

- (1) Уменьшение затрат;
- (2) Повышение качества товара;
- (3) Увеличение урожайности или объема производства.

Образующаяся рента может быть распределена равномерно по всему коллективу (как этого пытался добиться крестьянский "мир"), или же может попадать в те или иные руки. Хозяином ренты может быть не только собственник земли или предприятия, но и создатель интеллектуальной собственности. Отсюда возникает рынок "интеллектуальных товаров" – проектов, авторских прав и т.п.

Революции – не что иное как попытки сменить хозяина ренты.

Глава 6. Динамика продаж

Как мы видели в предыдущей главе, обычное рыночное поведение продавцов и покупателей, при соблюдении "постулатов свободного рынка", приводит к установлению предельной цены товара. Если учитывать качество товара, то продавцы i изображаются точками "облака", заполняющего некоторую область плоскости (C, Q) , где C – себестоимость единицы количества рассматриваемого товара, а Q – качество товара (см. главу 5, рисунки 8, 9). На рисунке 1 координаты (C_i, Q_i) точки i равны себестоимости и качеству товара, предлагаемого i -ым продавцом. Прямая R имеет тот же смысл, что и в главе 5. Для точек этой прямой i_0 отношение координат $Z_0 = C_0/Q_0$ (то есть наклон прямой R к оси Q) равен установившейся цене товара на данном рынке; это значит, что единица качества товара в конечном счете продается по цене, близкой к Z_0 , но не превосходящей Z_0 .

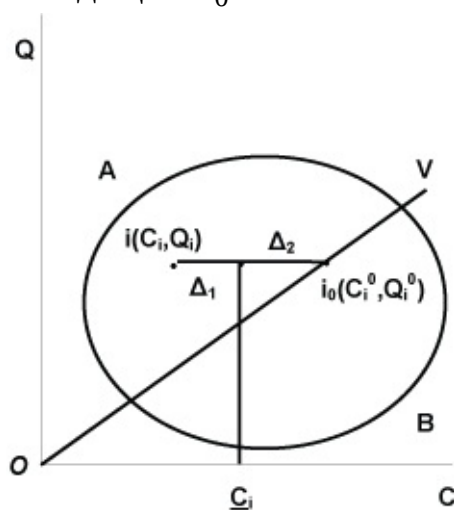


Рис.1

Конечно, так и происходит в большинстве случаев. Себестоимость единицы товара C_i состоит, как мы знаем, из трудовых затрат производителя i на изготовление этой единицы качества, включая оплату рабочей силы и содержание самого производителя и его семьи; при этом производитель, как предполагается, сам продает свой товар, так что по – прежнему исключается посредничество торговцев. Если он не очень активен, то ведет себя примерно так, как описано в предыдущей главе, и после предварительного понижения цен продает б'ольшую часть своего

товара по цене, близкой к предельной цене Z_0 . Но если продавец активно конкурирует на рынке, располагая товаром достаточно высокого качества, то он попытается увеличить сбыт своего товара, назначив более низкую цену: тогда проигрыш в цене может компенсироваться объемом продажи. В этой главе излагается динамика процесса продажи у одного такого продавца, в простейших предположениях; сначала рассматривается случай "честной" торговли, с соблюдением всех правил свободного рынка (не препятствующих снижению цен в "первом сезоне", см. главу 5), а затем случай, когда нарушается требование правильной информации о качестве товара.

Случай "честной конкуренции"

Рассмотрим для определенности товар, время потребления которого намного меньше времени жизни человека и потребление которого ограничено физиологией или культурой, так что покупка этого товара периодически повторяется: примерами такого товара могут быть булка хлеба, бутылка газированной воды, пакет молока, тюбик зубной пасты, и т.п. Стоимость такого товара невелика, и ошибка в его выборе не очень важна, так что потребитель легко переходит от одного продавца к другому. Предположим, опять-таки для простоты, что рассматриваемый продавец i (в дальнейшем именуемый просто "продавцом") устанавливает цену на свой товар раз навсегда, и что он в состоянии, по мере увеличения сбыта, поставить любое требуемое количество товара при неизменном качестве. Конечно, последнее допущение можно согласовать с условиями главы 5 лишь предполагая производительность S_i i -го продавца достаточно высокой (ср. рис.5 главы 5). Что же касается цены, то в действительности применяется более гибкая политика, учитывающая изменение спроса, но мы не будем здесь рассматривать эти уточнения.

Наконец, предположим, что продавец соблюдает все правила свободного рынка: если он прибегает к рекламе, то правильно описывает свойства своего товара. Такую рекламу, теперь уже редкую, называют "добросовестной"; ее имитируют производители, приводящие, например, химический состав своего изделия, но не данные о его употреблении. Если продавец назначит за единицу качества товара предельную цену рынка C_i^0 , то получит полную ренту $C_i^0 - C_i$, то есть максимальный чистый доход от единицы качества товара, изображаемый отрезком ii_0 на рисунке 1, но число продаж за единицу времени может оказаться невысоким. Если же он станет продавать товар по себестоимости C_i , то доход его вовсе иссякнет. Поэтому он попытается оптимизировать свою прибыль (суммарную ренту от всех продаж за единицу времени), назначив некоторую промежуточную цену C_i , лежащую между C_i и C_i^0 (рис.1):

$$C_i < C_i < C_i^0.$$

При этом товар должен распродаваться достаточно быстро, а присваиваемая им доля ренты должна оставаться достаточно большой.

Предположим сначала, что реклама запрещена или не влияет на

покупателей, которые руководствуются лишь информацией, получаемой ими друг от друга: так оно и было до появления средств массовой информации. Можно допустить, что публике известна установившаяся (предельная) цена C_i^0 единицы некоторого товара, например, булки хлеба определенного качества. Тогда продавец i , выпустивший в продажу хлеб этого же качества по более дешевой цене C_i (так что $C_i^0 - C_i > 0$), может рассчитывать на положительные отзывы о его продукции покупателей, уже купивших ее, вследствие чего на следующий день число продаж будет больше: допустим, что оно возрастет пропорционально $C_i^0 - C_i$. Поскольку каждый довольный покупатель дешевого хлеба будет рекомендовать его такому же числу лиц, еще через день число продаж возрастет в том же отношении, и т.д., так что если в некоторый день будет K продаж, то на следующий их будет $M = aK$, где коэффициент a больше единицы и, по предположению, пропорционален величине выигрыша в цене $C - C_i$. Поэтому можно говорить о "размножении продаж", аналогичном размножению животных, рассмотренному в главе 1. Это наводит на мысль опять воспользоваться методом фазовых портретов: изобразим процесс размножения продаж фазовой кривой 1 на рисунке 2, где K – число продаж в течение текущего ("сегодняшнего") дня, а M – число продаж в течение следующего ("завтрашнего") дня. В этом случае продажа может начаться с очень небольшой величины товара, так что фазовая кривая рисунка 2 практически исходит из начала координат O . Некоторое время процесс продажи будет происходить с постоянным "коэффициентом размножения" a , то есть в геометрической прогрессии; при этом отношение M/K будет постоянно и, следовательно, фазовая кривая 1 вначале представляет отрезок прямой. Поскольку это отношение больше 1, кривая поднимается выше биссектрисы координатного угла. Чем больше выигрыш в цене $C_i^0 - C_i$, тем быстрее нарастает число продаж и, следовательно, тем круче поднимается с самого начала фазовая кривая (на рисунке 2 изображено также начало более круто возрастающей кривой 1а), и тем больше это привлекает покупателя – тем быстрее нарастает число продаж.

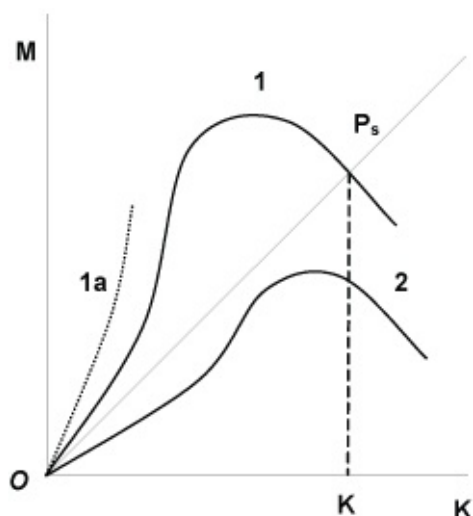


Рис.2

Когда покупкой хлеба сорта i будет "охвачена" значительная доля населения региона, то включится кооперативный ("стадный") эффект: люди будут узнавать о дешевом хлебе не у одного знакомого, а у многих, вследствие чего продажи будут нарастать быстрее, чем в геометрической прогрессии – отношение M/K будет возрастать, то есть хорда фазовой кривой будет подниматься (рис.2). Ясно, что такой рост числа продаж скоро исчерпает число возможных клиентов, так как население региона ограничено, и каждый покупатель нуждается лишь в определенном количестве хлеба, соответствующем потребностям его семьи. Следовательно, через некоторое время потребление хлеба сорта i стабилизируется. Из главы 1 мы знаем, как происходит такая стабилизация: "размножение" замедляется, то есть наклон хорды OP к оси K уменьшается, и фазовая кривая опускается до пересечения с биссектрисой в некоторой точке P_s , а затем уходит ниже биссектрисы. Прием отражения в биссектрисе, описанный в главе 1, показывает, что число ежедневных продаж остановится в точке устойчивого равновесия P_s , на уровне абсциссы этой точки.

Если разность $C_i^0 - C_i < 0$, то покупатель будет считать себя в проигрыше (по сравнению со "стандартной" рыночной ценой C_i^0 хлеба того же качества Q_i) и будет избегать этого хлеба, предостерегая от него других. Фазовая кривая такого процесса будет выражать убывание продаж ($M < K$) и пойдет ниже биссектрисы. Как мы знаем из главы 1, при такой форме фазовой кривой "популяция" вымирает, то есть – в нашем случае – число продаж убывает до нуля. Так вытесняются с рынка слишком дорогие товары.

С другой стороны, товары вроде i -го сорта хлеба, предпочитаемого покупателем за его дешевизну, вытесняют с рынка и продукцию других производителей, работающих в "благоприятной" области A (рис.1). Кажущееся противоречие с теорией главы 5, обещавшей безопасность продавцам из этой области, связано с тем, что там мы предполагали производительность всех продавцов фиксированной, то есть рассматривали статический по составу рынок, а теперь, когда продавец i должен удовлетворять все возрастающий спрос на его продукцию, при неизменном общем спросе на тот же товар, ему приходится увеличивать свое производство, вытесняя с рынка других. Теперь мы должны считать теорию главы 5 относящейся к периоду работы рынка, когда его можно считать статическим, между тем как в этой главе рассматривается уже простейшая динамика рынка, возникающая при расширении производственных возможностей продавцов. Ясно, что прежде всего вынуждены будут уйти с рынка производители на прямой R с наивысшей себестоимостью, а затем – близкие к прямой R . Теперь они уже не нужны для удовлетворения спроса и переходят в область B , где производство нерентабельно. Прямая R вращается против часовой стрелки, ее наклон к оси Q убывает, а это значит, что уменьшается отношение $Z_0 = C_0/Q_0$, выражающее рыночную цену единицы качества.

Более того, даже такие предприимчивые производители, как описанный выше i -ый, могут оказаться ниже поднимающейся прямой R и, тем самым, могут быть изгнаны с рынка более эффективными конкурентами. Чтобы этого избежать, они должны "передвинуться" влево или выше (см.рис.1), то есть уменьшить себестоимость своей продукции или улучшить ее качество. Таким образом конкуренция, действующая описанным выше способом, вынуждает производителей снижать себестоимость изделий, что позволяет им дальше снижать цены и повышать качество изделий. Преуспевший в конкуренции производитель (который вначале мог быть ремесленником, работавшим собственноручно или с помощью семьи) наживает капитал и нанимает рабочих; тем самым он становится капиталистом. Как мы увидим дальше, это и позволяет ему расширять производство и вводить технические новшества, поскольку он может оплачивать изобретателей.

Все эти особенности свободного рынка приводят к постоянному удешевлению товаров и повышению их качества, что справедливо рассматривается как важная историческая заслуга "капитализма". Эти его свойства мы рассмотрим в следующей главе.

Случай "нечестной конкуренции"

К несчастью, отмеченное преимущество капитализма в значительной мере обесценивается его недостатками, также рассматриваемыми в следующей главе. Здесь мы ограничимся некоторыми последствиями рекламы.

Роль рекламы чрезвычайно возросла после появления газет, журналов, радио и особенно телевидения, которое и существует главным образом ради нее и оплачивается рекламодателями. Даже "добросовестная" реклама, то есть реклама, правильно описывающая свойства товара и способ его употребления, вносит искажения в работу рынка (или, как говорят, "деформирует" рынок). В самом деле, реклама доставляет преимущества не обязательно наилучшему, или даже самому дешевому товару, а тому товару, производитель которого достаточно богат и влиятелен, чтобы использовать все явные и неявные возможности рекламы. Каждая минута телевизионного времени стоит сотни тысяч долларов, а способ изложения и очередность рекламы определяются людьми, зависящими от рекламодателей; точно так же используются для рекламы популярные спортсмены и "кинозвезды". Все эти возможности связаны не с самим товаром и не с интересами его потребителя, а с наличным капиталом и влиянием производителя. Весьма спорно, является ли даже "добросовестная" реклама "честной конкуренцией", так как она деформирует процесс продажи, закрывая путь лучшим и более дешевым товарам, не имеющим такой поддержки. Мы оставляем в стороне вопрос о том, совместима ли реклама с концепцией "свободного рынка", поскольку такой вопрос давно уже представляет лишь академический интерес.

Чтобы понять, каким образом действует реклама, воспользуемся опять фазовым портретом (рис.3). На этом рисунке сплошная линия изображает динамику продажи высококачественного и дешевого товара ($C_i^0 - C_i > 0$) при отсутствии рекламы, а пунктирная линия – динамику продажи того же товара, когда его появлению предшествует реклама, сопровождающая затем его распространение. В этом случае при

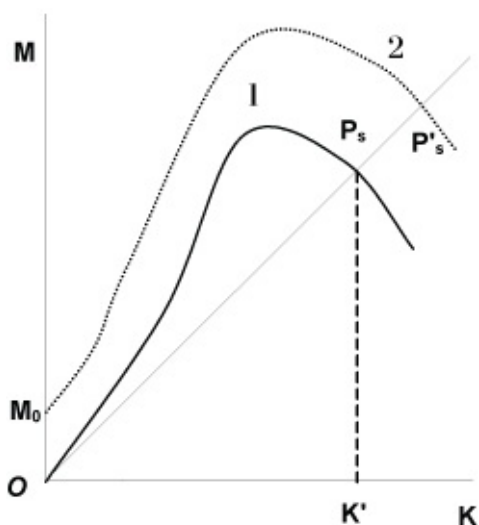


Рис.3

самом появлении товара уже имеется спрос на него, спровоцированный рекламой, и в первый же день продажа может быть равна значительной величине K_0 (рис.3). Дальше, как можно предположить, будут одновременно действовать те же факторы "размножения" продаж, что и выше – рекомендации довольных покупателей – ,но вместе с ними и реклама, усиливающая кооперативный эффект и поднимающая кривую продаж до пунктирной линии рисунка 3. На пересечении этой пунктирной линии с биссектрисой получается точка устойчивого равновесия продаж P'_s , лежащая выше прежней точки равновесия P_s . Таким образом, реклама не только дает товару его "старт" K_0 , но также в конечном счете увеличивает устойчивое число продаж.

Но реклама точно так же поднимает фазовую кривую и в случае чрезмерно дорогого товара, цена которого превосходит стандартную рыночную цену, а также в случае товара низкого качества, в "нормальных" условиях вообще не способного проникнуть на рынок, а остающегося в "области В" рисунка 1. Рисунок 4 иллюстрирует, как недобросовестная реклама деформирует рынок. На этом рисунке сплошная линия изображает, подобно кривой 2 рисунка 2, судьбу плохого товара, исчезающего с рынка при отсутствии рекламы: эта кривая с самого начала опускается ниже биссектрисы, а это значит, что сколько бы ни продали этого товара сегодня, завтра его продадут меньше, поскольку в этом случае $M(K) < K$. В этом случае, как надо предположить, в начале продажи на рынок выбрасывается значительное количество товара K_0 , так как при небольшом K_0 продажа вообще не разовьется; и через некоторое время точка (K, M) подойдет сколь угодно близко к O , то есть товар перестанет продаваться. Но при

наличии рекламы эта кривая поднимается до пунктирной линии, начинающейся с положительного числа продаж K_0 (рис.4), а затем кооперативный эффект содействует увеличению продажи точно таким же образом, как при отсутствии рекламы противоположный кооперативный эффект – распространяющаяся дурная репутация того же товара – уменьшает его продажу. Наконец, пунктирная кривая пересекает биссектрису, поскольку спрос ни при какой рекламе не может неограниченно расти, и тогда по общим правилам неизбежно устанавливается устойчивое равновесие в точке P_s : товар, во всех отношениях несостоятельный, навязывается покупателям и превращается в привычный для них товар!

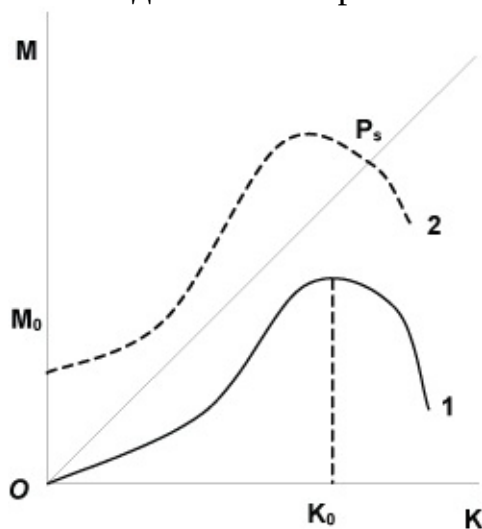


Рис.4

В случае популяции насекомых пунктирная линия соответствовала бы искусственному введению в данную область вредных насекомых, не родившихся в этой области, а нарочито выращенных в другом месте. С только что рассмотренным плохим товаром дело обстоит точно так же, причем роль "питомника" насекомых исполняют лаборатории разработавшей его фирмы, а "ввоз" насекомых заменяет реклама.

Механизм введения плохого товара состоит в том, что кооперативный эффект или, если угодно, стадное воздействие общественного мнения преодолевает здравый смысл и собственное суждение индивида. Глобальное действие рекламы можно сравнить с методами фашистской пропаганды. Вредная реклама не останавливается на подробностях, касающихся товара, а внушает публике фантастические представления о его достоинствах, оперируя общими фразами. Например, рекламируется заведомо вредный, никому не нужный напиток, имеющий к тому же

противный аптечный вкус от составляющей его химической стряпни. Но если реклама категорически утверждает, что "вся Америка пьет дураколу", и если можно видеть, как множество людей ее в самом деле пьет, то индивид, и вообще не привыкший полагаться на собственное мнение, верит, что в дураколе и в самом деле есть какое-то благо, которого он сам не умеет оценить. И он покупает ее снова и снова, тем более что вскоре уже трудно найти в продаже что-нибудь лучшее.

Реклама, утверждающая, что "все настоящие мужчины носят дураколу", что "дуракола делает каждую женщину красивой", и т.п., вовсе не нуждается в рациональном обосновании: менеджеры и психологи, конструирующие такую рекламу, намеренно избегают всего, что могло бы включить сознательное мышление потребителя, в прошлом столь упорно оберегавшее его интересы. Разумеется, такая реклама — это конец "свободного рынка", и "консерваторы", ожидающие от этого "свободного рынка" решения всех нынешних проблем, должны были бы начать с запрещения хотя бы некоторых видов рекламы. Как можно видеть, ничего подобного не происходит: напротив, эти люди применяют в точности те же методы, рекламируя свой собственный идеологический товар. Засилье рекламы в "западном мире" уже обессилило рыночные механизмы и наводнило рынок плохими и дорогими товарами. Но этим дело не ограничивается: подрывая способность личного суждения, реклама подготавливает тоталитарный политический строй, который все более укрепляется, прикрываясь маской демократии.

Глава 7. Рынок труда и капитализм

Рынок труда

Труд – это рабочая сила, применяемая в производственных условиях в течение определенного времени. Идея рассматривать труд как товар, в сущности, очень стара, поскольку еще в древности был наемный труд, но в экономическую науку эту идею ввел Д. Рикардо. С весьма своеобразным товаром, каким является труд, связаны особые трудности. Если мы хотим перенести на этот товар общие понятия главы 5, то мы должны рассматривать каждого рабочего как продавца своего труда и определить для его труда производительность и трудовые затраты. Важнейшим признаком капитализма, отличающим его от любой другой формы хозяйства, является превращение труда в товар. С этого особенного товара мы и начнем. Мы не будем говорить о капитализме в те эпохи, когда он не был еще господствующим укладом жизни, а рассмотрим его в современном виде.

Если оставить сначала в стороне качество труда, то можно предположить, что производительность каждого рабочего, продающего труд определенного рода (например, токаря, слесаря, и т.д.), измеряется количеством товара, которое он может произвести в определенное время – например, в течение часа. Чтобы выразить производительность в числах, мы примем, что все рабочие, выходящие на рассматриваемый рынок труда, изготавливают однородный товар одного и того же качества, количество которого измеряется либо в определенных единицах, например, в килограммах, либо числом готовых изделий. Поскольку мы будем рассматривать лишь такой рынок труда, где производится вполне определенный товар, и будем сравнивать производительность труда рабочих, производящих одинаковый товар, нам безразлично, в каких единицах измерять эту величину: мы будем просто говорить, что производительность труда такого-то рабочего составляет P единиц.

Сложнее обстоит дело с трудовыми затратами. Маркс пытался применить к труду общий метод Рикардо, измерявшего так называемую "стоимость" товара средним рабочим временем, "общественно необходимым" для его производства. Переноса этот метод на "рабочую силу", Маркс говорил о труде, необходимом для "воспроизводства" этой рабочей силы – для воспитания и образования детей, профессиональной подготовки рабочего, и т.п. Всевозможные "теории стоимости" – в том числе теории Рикардо и Маркса – неоднократно подвергались критике за их

схоластический характер, не допускающий "операционного", объективно выводимого из опыта определения этого понятия. В конце главы мы вернемся к этому исторически важному заблуждению. Наше определение трудовых затрат не будет зависеть от "теорий стоимости". Оно будет основано на объективных данных, складывающихся на рынке труда.

В главе 5 мы рассматривали работу выращивания пшеницы, и при оценке себестоимости этого товара нам нужно было определить минимальную оплату труда по выращиванию пшеницы в течение часа. Мы приняли при этом, что трудовые затраты i -го производителя S_i равны плате, которую он мог бы получить за то же рабочее время, нанявшись в батраки. Как мы помним, это допущение было использовано для объяснения, почему никто не продает свой товар ниже его себестоимости. Мы обобщим теперь этот подход, предположив, что i -ый рабочий, при всех его свойствах, существенных для рынков труда, может получить часовую оплату, по меньшей мере равную S_i , предлагая свои услуги на различных рынках труда в данной местности. (В главе 5 мы рассмотрели частный случай, когда производитель умеет только выращивать пшеницу!). Сумма S_i определяется существующими условиями труда; она не включает в себя, в отличие от главы 5, хозяйственных расходов, поскольку рабочий не имеет собственных средств производства. С другой стороны, эта минимальная сумма заработка уже определила его "жизненный стандарт", то есть притязания и жизненные привычки его самого и членов его семьи. Так как этот жизненный стандарт, как было сказано, определяется условиями труда в данном месте и в данное время, он объективен. Эти условия зависят не только от квалификации рабочего в общем смысле, то есть от его способности зарабатывать деньги любым трудом, но и от социальных факторов, таких, как пол, возраст или цвет кожи, поскольку все эти его свойства учитываются всеми предпринимателями при найме рабочих. Но в данных условиях сумма S_2 объективна: это минимум, на который i -ый рабочий может рассчитывать, какую бы он ни выполнял работу. Эту сумму он знает, равным образом как свою производительность P_i ; тем самым он знает себестоимость своего труда $C_i = S_i/P_i$ (или, как мы будем говорить для простоты, "свою себестоимость").

Понятно, что рабочий не согласится работать за сдельную оплату (заработную плату) ниже своей себестоимости. При найме на работу он сообщает предпринимателю – единственному покупателю его труда – свою производительность P_i (чаще всего в виде своего "разряда"), и эта

информация легко проверяется в ходе производства. Что касается его трудовых затрат S_i , то он не сообщает их предпринимателю, хотя тот, конечно, может их оценить и принимает во внимание. Впрочем, эта величина проявляется в первой фазе рынка труда (соответствующей первому "сезону" торговли пшеницей): как и на любом рынке, в ходе конкуренции между рабочими, продающими свой труд, их заработная плата в этой фазе опускается до себестоимости. Во второй фазе действует уже установившаяся цена на труд.

Итак, каждый рабочий i характеризуется двумя числами S_i, P_i , и точно так же, как на рисунке 1 главы 5, его можно изобразить точкой с координатами (S_i, P_i) на плоскости (S, P) (рис.1). Далее можно повторить все построения главы 5: построить "облако" точек

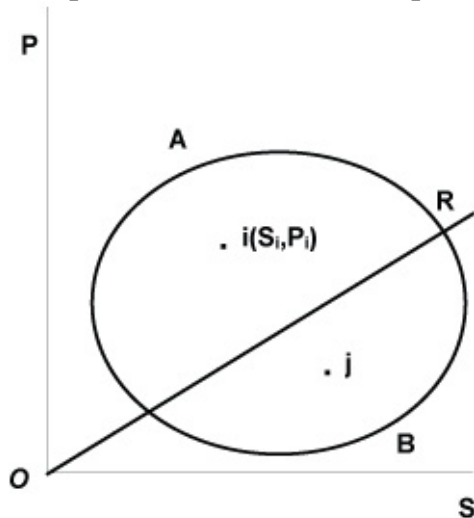


Рис.1

$i = 1, 2, \dots, n$, изображающих n выходящих на рынок рабочих, прямую R и области A и B . Как только мы ввели характеристики S и P , труд становится таким же товаром, как всякий другой! Как и в главе 5, мы предполагаем, что рынок свободен – с теми же мотивами рыночного поведения; примечательно лишь, что роль единственного покупателя всего поступающего на рынок товара играет владелец предприятия – "капиталист" (а роли продавцов – рабочие, и вообще наемные работники).

Полная часовая производительность всех n рабочих равна

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

единиц (килограммов, штук, и т.п.). Допустим, что полная потребность в производимом товаре, рассчитанная на час работы предприятия, равна P ; тогда, если данный рынок удовлетворяет всю эту потребность, можно рассматривать то же число P как меру полной потребности в труде

данного вида, поскольку труд измеряется в тех же единицах продукции. Как и прежде, мы предположим, что

$$P > P ,$$

то есть что не существует дефицита рабочей силы. Тогда те рабочие, которые получают работу на данном рынке труда, изображаются точками i области A , расположенными выше прямой R и на этой прямой. Остальные рабочие, такие, как j на рисунке 1, изображаются точками области B : это безработные. Свободный рынок рабочей силы без дефицита означает, что должны быть безработные.

Продолжим теперь построения главы 5 в применении к рынку рабочей силы. Пусть число работающих равно m ($m < n$), и пусть они обозначены первыми m числами $1, 2, \dots, m$. Тогда, по определению области A , где находятся изображающие их точки,

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_m,$$

то есть эти m рабочих полностью обеспечивают необходимую производительность труда. С другой стороны, полная сумма трудовых затрат на рассматриваемом рынке труда равна

$$S = S_1 + S_2 + \dots + S_m ,$$

и это, как было доказано в главе 5, наименьшая возможная сумма затрат при заданной выше общей производительности (доказательство распространяется на любой свободный рынок!). Опять-таки, эту задачу оптимизации рынок труда решает без всякого планирования, посредством стихийного рыночного поведения рабочих-продавцов своего труда и капиталиста-покупателя этого товара. (Здесь не учитывается «качество» рабочей силы).

Заработная плата

Себестоимость труда i -го рабочего, как и себестоимость любого товара, равна

$$C_i = S_i / P_i$$

Установившаяся цена единицы труда C_0 вычисляется точно та же, как в главе 5. Эта цена равна наибольшему значению себестоимости C_i в области A , и для всех точек i_0 граничной прямой R

$$C_0 = S_0 / P_0$$

(Рис.2). Из рисунка 2 видно, что $C < C_0$, причем равенство достигается лишь на прямой R .

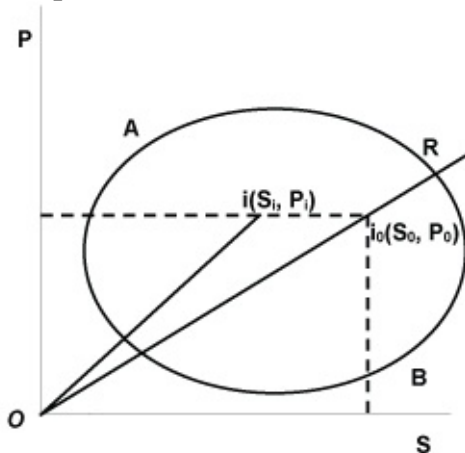


Рис.2

Рабочий i выполняет за час труд, количество которого мы обозначили через P_i . Так как этот труд продается по установившейся цене на труд C_0 , его заработная плата за час равна

$$S_i^0 = C_0 P_i.$$

Эту величину можно геометрически представить следующим образом. Проведем через точку i горизонтальную прямую до пересечения с прямой R (рис.2) в точке i_0 . Тогда, как читатель легко проверит, S равно абсциссе точки i_0 . Очевидно, $S < S_i$, причем равенство достигается лишь для точек i , принадлежащих прямой R . Разность

$$DS_i = S_i^0 - S_i$$

можно истолковать как ренту, получаемую i -ым рабочим; если S_i представляет его "привычный стандарт жизни", то рента составляет

избыток, возрастающий при увеличении производительности P_i .

Полная сумма затрат на заработную плату на данном предприятии есть $S^0 = S_1^0 + S_2^0 + \dots + S_m^0 = C_0(P_1 + P_2 + \dots + P_m) = C_0P$,

а средняя заработная плата за единицу продукции равна цене труда C_0 :

$$S^0 / P = C_0$$

Капиталист заинтересован в снижении этой величины. Ясно, что он старается уменьшить отношение S_i/P_i у своих рабочих: тогда уменьшится и средняя заработная плата $C_0 = S_0/P$. Этого можно достигнуть либо увеличением производительности труда P_i , либо уменьшением трудовых затрат S_i или, что то же, S (рис.2), поскольку P_i входят в знаменатель P , а S в числитель S_0 предыдущего выражения C_0 .

При первоначальном, "диком" капитализме не было разницы между трудом и другими товарами. Точно так же, как гибнет непроданный товар, погибали люди, не сумевшие найти работу: им буквально угрожала голодная смерть. Знаменитая "викторианская эпоха", которую считают временем наивысшего расцвета западной цивилизации, была основана на нищете наемных рабочих, которых именно в то время стали называть "рабочим классом". Свободный рынок, еще не связанный в то время государственными ограничениями, приводил к безудержной конкуренции предпринимателей, стремившихся снизить цены своих товаров и для этого уменьшить заработную плату. На предприятиях уже применялись машины, но они были несовершенны, и требовалось много ручного труда. Поэтому обычным способом увеличения производительности труда было удлинение рабочего дня. В то же время предприниматели стремились нанимать рабочих с наименьшими притязаниями, то есть с наинизшим уровнем трудовых затрат: в "викторианскую эпоху" это были женщины и дети. При раннем капитализме оба эти способа достигли пределов, которые теперь кажутся немыслимыми. Рабочий день доходил до 16-17 часов в день, часто без выходных дней. Уровень жизни рабочих снижался ниже прожиточного минимума: только это могло заставить их посылать на фабрики своих жен и детей, вопреки английской традиции. Дети начинали работать с 5-6 лет, как только им можно было объяснить, что от них требуется. Эти явления, получившие название "эксплуатации трудящихся", вызвали реакцию возмущения самих рабочих и широких слоев общественности. [Возмущение особенно относилось к детскому труду, и первыми его высказали врачи, священники и писатели, как правило, люди умеренных взглядов. Это вызвало парламентские расследования, и уже в 1819 году был

издан закон, ограничивший рабочий день детей двенадцатью часами в день. Не столь умеренные критики общественных порядков вышли на сцену несколько позже: слово "социализм" впервые появилось в 1832 году, а слово "коммунизм", в его современном значении, в 1840 году]. Экстраполяция этой тенденции привела Маркса к его гипотетическому "закону абсолютного обнищания рабочего класса", который мы рассмотрим ниже.

Вмешательство государства в рыночные отношения произошло под давлением рабочих мятежей. Движение "луддитов" в Англии, ломавших станки, восстания лионских ткачей во Франции и силезских ткачей в Германии побудили, в конце концов, правительства европейских стран постепенно ограничить свободу рынка, поскольку самое здание рынка угрожало обрушиться на торгующих. Наиболее гибко вели себя правящие круги Англии, но и в Англии парламентская реформа 1832 года и последовавшие за ней меры успокоения рабочих были предприняты лишь под прямой угрозой революции, сложившейся в начале тридцатых годов. На континенте избрали путь насильственного подавления, что привело к трем революциям во Франции, движущей силой которых были рабочие (1830, 1848, 1870), и в конечном счете к такой же законодательной регламентации, как в Англии; в Германии социальное беспокойство удалось направить в русло национализма, но с тем же конечным результатом – после двух мировых войн. Теперь свободного рынка в смысле викторианской эпохи нигде нет. Конечно, некоторые теоретики рынка продолжают настаивать, что любое вмешательство в рыночные отношения есть нарушение гражданской свободы, ведущее ко всяким другим нарушениям. Но поскольку свобода рынка была ограничена во всех развитых странах, вряд ли можно отнести эту тенденцию лишь за счет вредных теорий. По-видимому, совершенно свободный рынок так же неосуществим на практике, как любые другие совершенные учреждения. Вопрос в том, где провести границу, чтобы не отнять у рынка его преимущества.

Уже в двадцатом веке была изобретена мера, препятствующая "снижению жизненного уровня" самых низкооплачиваемых рабочих: "минимум" заработной платы, запрещающий платить меньше некоторой суммы $S_{\min}$ всем наемным работникам. Как видно из рисунка 3, это означает, что из области А исключаются точки с абсциссой меньше $S_{\min}$ (заштрихованная часть области А). Поскольку после этого полная сумма используемого труда становится меньше требуемой величины P , прямая R

опускается до положения R' , причем, за вычетом точек новой заштрихованной области заданной тем же значением минимальной заработной платы (которую читатель сам нанесет на чертеж), оставшаяся часть новой области A' будет давать прежнюю общую производительность труда P . Рабочие, изображаемые точками между прямыми R и R' , теперь получают работу.

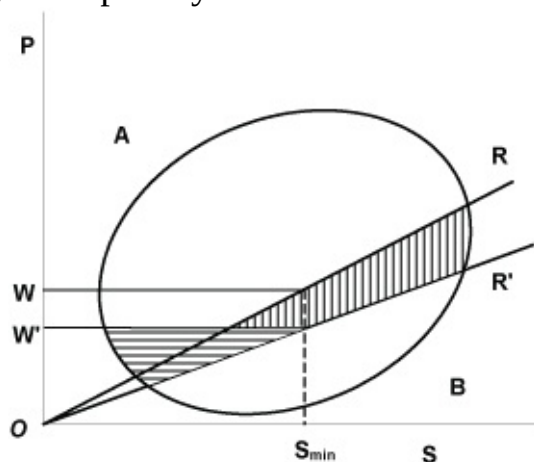


Рис.3

В Соединенных Штатах минимальная заработная плата, гарантируемая законом, составляет в настоящее время 5 долларов в час, то есть около 800 долларов в месяц. Заметим, что при обычных формах "облака" рабочей силы понижение прямой R означает, что средняя заработная плата повышается (см. рис.3), то есть вместо рабочих с низкой заработной платой нанимают рабочих с более высокой. Это одна из причин (не самая важная), почему не подтверждается "закон об абсолютном обнищании рабочего класса". С другими причинами мы встретимся дальше.

Рабочие, оставшиеся без работы вследствие введения "минимума", пользуются, как и другие безработные, государственными пособиями; в Соединенных Штатах это так называемый welfare, составляющий 200-300 долларов в месяц, с прибавлением 100 долларов на квартиру и бесплатного медицинского обслуживания. Предполагается, что безработные, если они физически здоровы, могут приобрести новую квалификацию или повысить свою производительность труда. Эта система социального обеспечения вызвала справедливые нарекания, так как в ряде случаев она порождает паразитизм и умножает распорядительную власть чиновников. В настоящее время безработный может состоять на пособии – в течение всей жизни – не более пяти лет.

Главный мотив введения системы пособий был вовсе не

экономический: это была попытка государственной власти справиться с социальным беспокойством, особенно среди черных, откупившись от всех проблем денежными подачками. Сторонники этой системы подчеркивают, напротив, ее экономические достоинства: безработные, получающие пособия, остаются потребителями товаров, которые в противном случае были бы им недоступны, а это поддерживает уровень производства и занятость тех, кто имеет работу. Вряд ли эти соображения могут оправдать создание постоянного класса безработных – здоровых людей в производительном возрасте, теряющих интерес к труду. Мы вернемся к этой проблеме в главе, посвященной безработице.

Капиталистическое производство

Рассматривая рынок труда, мы представляли себе работу одного предприятия, производящего определенный товар. Теперь мы рассмотрим работу ряда предприятий, производящих один и тот же товар и конкурирующих между собой. Владельца каждого из них, принимающего производственные решения, мы назовем словом "капиталист" (хотя в настоящее время индивидуальный владелец предприятия скорее встречается в виде исключения, так что в действительности речь идет о некоторой группе людей, играющей роль прежнего владельца). Будем обозначать капиталистов номером i . Обозначим через S_i полную сумму затрат i -го капиталиста на различные товары, нужные ему для производства в течение года – оборудование, сырье, энергию и труд всех работников предприятия. Выберем некоторую меру количества произведенного за год товара, которую будем условно называть "массой" товара и обозначать буквой M . В начале исследования будем рассматривать товар одного и того же качества, причем M может означать объем, вес, число изделий, и т.д. Примем за характеристику i -го капиталиста его годовые затраты S_i и годовую массу производимого им товара M_i . Тогда его можно изобразить точкой (S_i, M_i) плоскости (S, M) (рис.4), точно так же, как производителя пшеницы на рисунке 1 главы 5. Все такие точки составляют "облако" из n капиталистов, которые могут выдать общую массу товара

$$M = M_1 + M_2 + \dots + M_n .$$

Предположим, что эта масса больше требуемой потребителями массы M :

$$M > M ;$$

таким образом мы опять рассматриваем рынок без дефицита, каким и становится обычно свободный рынок.

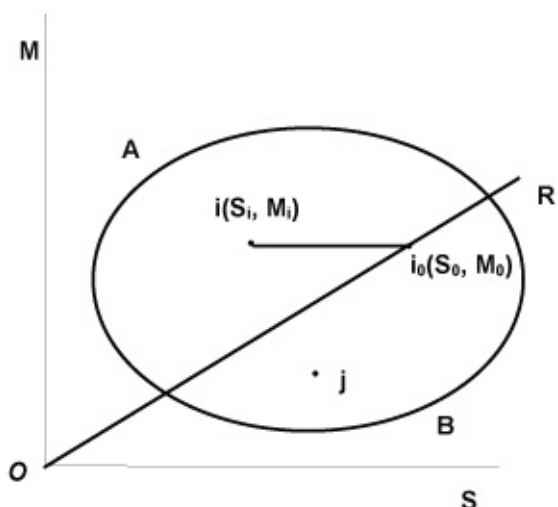


Рис.4

Точно так же, как мы это делали для рынка пшеницы, проведем прямую R таким образом, чтобы выше нее и на ней самой оказались точки i , дающие в точности требуемую массу товара M . Пусть эти точки составляют область A ; занумеруем их числами $1, 2, \dots, m$ ($m < n$). Тогда

$$M = M_1 + M_2 + \dots + M_m.$$

Остальные точки, такие, как j , составляют область B и не нужны для производства рассматриваемого товара; соответствующие им капиталисты должны разориться, и в случае действительно свободного рынка уходят с него. (Современное государство, по тем или иным мотивам, нередко приходит на помощь таким фирмам, но мы не будем входить в этот вопрос, так как пособия капиталистам не предусматриваются законом и потому нерегулярны). Предприятия, принадлежащие области A , доставляют нужное количество товара M при минимальных общих затратах

$$S = S_1 + S_2 + \dots + S_m.$$

Это как раз тот результат, к которому должно было бы стремиться "настоящее" оптимальное планирование для общего блага населения! Но, к сожалению, такое планирование на практике неосуществимо, потому что точные данные о всех производителях и потребителях, теоретически известные нашему исследователю и позволяющие ему построить диаграмму рисунка 4, на практике недоступны, а вычисления неосуществимы. Как и во всех подобных случаях, этому препятствует сложность рассматриваемой системы. Экономическая теория нужна не для того, чтобы заранее планировать производство и потребление, как это пытались делать в так называемых "социалистических" странах, а для понимания происходящих явлений. Не сознавая этого, люди пытались в этих странах решать задачи, превосходившие их разумение. Между тем,

свободный рынок – или даже отчасти свободный рынок (с нерыночными элементами в обороне, медицине и образовании) – способен решить их, под демократическим контролем, с помощью конкуренции, в которой каждый производитель и каждый потребитель преследует только свои собственные интересы! Описание этого процесса, приведенное в главе 5, носит общий характер и применимо ко всем рыночным явлениям.

Себестоимость единицы товара для i -го капиталиста равна

$$C_i = S_i / M_i$$

наибольшая себестоимость C_0 достигается для точек i_0 на прямой R (рис.4) и равна

$$C_0 = S_0 / M_0$$

Величина C_0 , по общему закону свободного рынка, выведенному в главе 5, становится установившейся ценой единицы товара; абсцисса S_i точки i_0 равна выручке i -го капиталиста от продажи произведенного за год товара по установившейся цене, тогда как абсцисса S_i точки i равна его годовым затратам; разность этих величин, изображаемая длиной отрезка ii_0 , есть рента i -го капиталиста:

$$DS_i = S_0 - S_i .$$

Здесь кончается аналогия с производством пшеницы, которое представляет, конечно, частный случай только что описанной схемы, но лишь в небольшой степени похоже на капиталистическое производство. Дело в том, что капиталист может использовать свою ренту быстро и многократно на расширение производства, то есть на увеличение производимой массы товара M_i : это и есть главное отличие капиталистического производства от всякого другого, например, от феодального землевладения. Лендлорд, эксплуатирующий участок земли, тоже может повысить свою ренту, улучшая качество земли, внося удобрения, и т.д.; но эти его возможности ограничены. В самом деле, начиная с некоторой величины урожайности, всякое дальнейшее ее повышение становится невыгодным, так как требует расходов, превышающих приращение ренты. Это наблюдение связано с самой природой почвы в качестве орудия производства: в сельском хозяйстве она незаменима, и функции ее от нас не зависят. Современные усовершенствования земледелия (о которых еще будет речь в главе 11, посвященной замкнутым системам жизнеобеспечения) далеко отодвинули предел "плодородия почвы", но все же указанное выше ограничение остается, поскольку мы не умеем изготавливать продукты питания, не

пользуясь процессом фотосинтеза растений, и тем самым зависим от заданных условий природы. Иначе обстоит дело для промышленных товаров, производство которых можно неограниченно совершенствовать.

Расширение производства

Капиталист может использовать часть своей ренты либо на простое увеличение своего предприятия, либо на введение новой технологии (придуманной обычно не им самим, а купленной у какого-нибудь изобретателя). В обоих случаях растет производительность его предприятия, но растут и затраты; будем считать для простоты, что производительность M пропорциональна затратам, как это (приблизительно) происходит при простом увеличении предприятия. Тогда (рис.5) координаты S_i, M_i точки i возрастают в одинаковое число раз, скажем, в k раз, а это значит, что точка i перемещается по лучу Oi в положение i_1 , удаляясь во столько же раз от начала координат (проверьте это, построив подобные треугольники!). Конечно, от таких перемещений меняется форма "облака капиталистов".

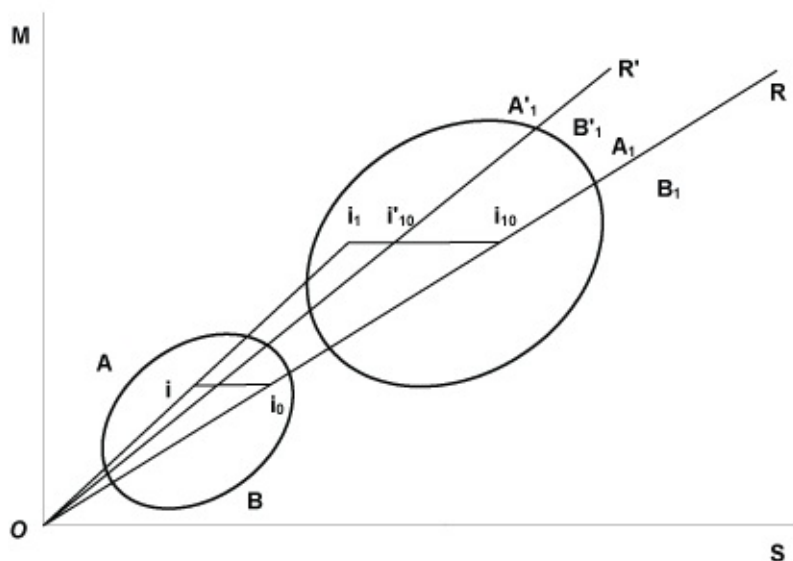


Рис.5

Если производительность увеличилась только у одного капиталиста, дающего лишь небольшую часть требуемого товара M , то облако точек меняется относительно мало, и мало изменяется положение прямой R . Считая эту прямую неподвижной, а тем самым цену продукции неизменной, из рисунка 5 легко убедиться, что его рента (отрезок ii_0) возрастает в k раз. Таково преимущество всякого новатора, если только он первый новатор в своем производстве.

Иное дело, если и все другие капиталисты примутся расширять производство – например, узнав технический секрет капиталиста i . Тогда

капиталист, прежде изображавшийся точкой i с координатами (S_i, M_i) , увеличит свою производительность в k раз и, как мы предположили, увеличит при этом и свои затраты во столько же раз, после чего он будет изображаться точкой i_1 с координатами (kS_i, kM_i) (рис.5). Облако капиталистов перейдет при этом в новое облако, которое получается из старого растяжением плоскости (S, M) в k раз (преобразованием подобия, или гомотетией), при которой каждая точка i удаляется от начала координат по лучу Oi . (На рисунке 5 мы взяли $k = 2$). Прямая R перейдет при растяжении в самую себя, области A и B , соответственно, в A_1 и B_1 . В области A_1 будет столько же точек, сколько было в A , но их общая производительность увеличится в k раз. Поскольку полная потребность в товаре M считается неизменной, надо взять из области A_1 некоторую ее часть A_1' , с производительностью в k раз меньше, отсекаемую прямой R' (рис.5). Теперь полная производительность будет равна требуемой величине M . Как видно из рисунка 5, от этого рента каждого расширившего свое производство капиталиста уменьшается: вместо отрезка i_1i_{10} она равна теперь отрезку $i_1'i_{10}$. Более того, точка i_{10} может оказаться ниже прямой R' , и тогда "новатор" разорится. И в самом деле, при всяком промышленном "буме" часть предпринимателей неизбежно разоряется.

Если все капиталисты расширяют свое производство в k раз, то новая установившаяся цена товара C_0' , равная наклону прямой R' к оси M , меньше прежней цены C_0 , то есть цена товара снижается.

Посмотрим теперь, как технический прогресс влияет на заработную плату. Вернемся к рисунку 2 и предположим, что вследствие каких-нибудь технических новшеств производительность труда каждого рабочего некоторого предприятия возрастает в k раз. Если общая потребность в производимом товаре остается прежней, и если, как и раньше, производительность труда измеряется количеством произведенного товара, то общая потребность в труде P также не меняется. С другой стороны, трудовые затраты рабочих S_i , как можно предположить, остаются неизменными, если используются те же рабочие, с тем же стандартом жизни. В этом отношении труд является особым товаром, поскольку продавец этого товара – рабочий – увеличивает свою производительность без увеличения его трудовых затрат: расходы по осуществлению "прогресса" несет не он, а капиталист. (Мы оставляем здесь в стороне случай, когда рабочие должны приобрести новые навыки, поскольку в этом случае капиталист обычно платит и за их обучение). Поэтому после

введения "прогресса" рабочий, прежде изображавшийся точкой i с координатами (S_i, P_i) , производительность труда которого увеличилась в k раз, а трудовые затраты не изменились, изображается точкой i_1 с координатами (S_i, kP_i) (рис.6).

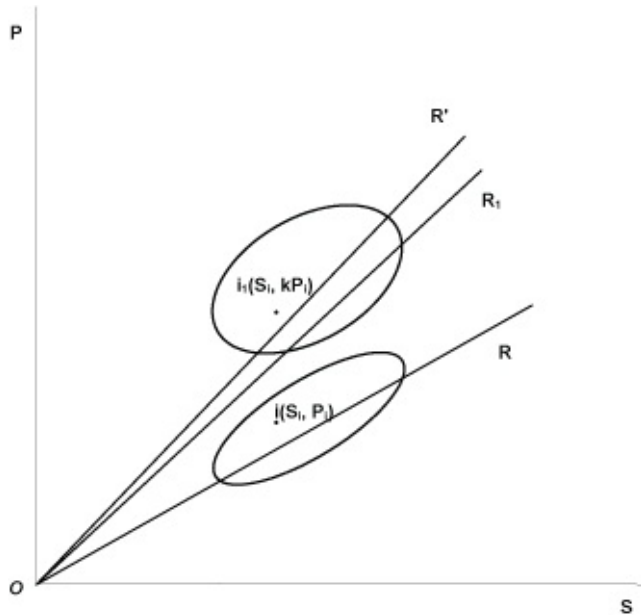


Рис.6

Облако точек i превратится в облако точек i_1 , причем преобразование старого облака в новое осуществляется растяжением плоскости (S, P) в k раз в направлении оси P . При этом растяжении прямая R переходит в прямую R_1 , а область A – в область A_1 , отсекаемую прямой R_1 . Читатель легко проверит, что наклон прямой R_1 к оси P в k раз меньше, чем наклон прямой R . Выше прямой R_1 и на прямой R_1 окажутся в точности точки i_1 , соответствующие прежним точкам i , лежавшим выше прямой R и на прямой R ; иначе говоря, область A_1 будет изображать тех же рабочих, которые раньше входили в область A , но с производительностью в k раз больше прежней. Следовательно, они будут давать количество труда kP , между тем как потребность в труде P остается прежней (напомним, что население считается неизменным и потребляет столько же товара!). Ясно, что предприниматель уволит лишних рабочих и оставит столько, чтобы общее количество их труда было по-прежнему равно P . Но тогда облако A_1 уменьшится до его части A' , отсекаемой некоторой прямой R' , проходящей выше R_1 (см. рис.6). Эта прямая R' и определяет цену труда после введения "прогресса" – для тех, кто сохранил работу. Поскольку она еще "круче" прямой R_1 , ее наклон к оси P меньше наклона прямой R_1 , то есть меньше

$1/k$ -ой наклона исходной прямой R .

Вспомним теперь, что цена труда после введения "прогресса" задается как раз наклоном прямой R' . Следовательно, при этом цена труда C_0 снижается не менее чем в k раз. Но у рабочих, сохранивших работу, производительность P_i возрастает ровно в k раз; таким образом, их заработная плата $C_0 P_i$ убывает (просто убывает, без оценки, во сколько раз!). С другой стороны, как мы видели раньше, цены на все товары, кроме труда, тоже убывают при техническом прогрессе. Более подробный анализ показывает, что снижение заработной платы сравнимо по масштабу со средним снижением потребительских цен.

Это окончательно опровергает марксов "закон абсолютного обнищания рабочего класса", вместе со всеми его предполагаемыми последствиями. Заметим, что мы рассмотрели "прогресс" лишь в виде возрастающего производства одних и тех же товаров, качество которых не принимается в расчет, а ассортимент не меняется – точно так же, как это делал сам Маркс. Как мы увидим дальше, в действительности картина прогресса оказалась сложнее; при этом учет качества товаров и появления новых товаров лишь подкрепляет предыдущий вывод. В самом деле, хотя прогресс приводит к увольнению части рабочих, он создает, как мы увидим, новые виды производства и новые рабочие места.

Качество и технический прогресс

Прогресс приводит не только к увеличению производительности труда, но – что еще важнее – к повышению качества товаров. Простое расширение производства, характерное для раннего капитализма, предполагает расширение рынка или открытие новых рынков, как это и было в Англии, когда ремесленное производство тканей сменилось фабричным, и вывоз этих тканей в Индию разорил индийских ткачей, или когда Америка и другие колониальные владения потребовали все больше металлических изделий. В эту эпоху и возникло представление о техническом прогрессе, как о способе увеличения производства одних и тех же "стандартных" потребительских товаров. Но такое чисто количественное умножение продукции имеет свои пределы: рост производства при капитализме опережает рост населения, так что потребность в простых, традиционных товарах, удовлетворяющих физиологические потребности человека, насыщается, и люди начинают заботиться об их качестве. Это давно уже произошло в странах "западной культуры", где, во всяком случае в двадцатом веке, даже низкооплачиваемые слои населения не хотят уже есть то, что ели их деды, носить их одежду и жить в их жилищах. Чтобы продать свой товар, капиталист должен повышать его качество.

Другая причина, ограничивающая количество производимых товаров, начинает ощущаться в наше время: это природные ресурсы Земли, конечность которых раньше не принимали в расчет. Некоторые товары, все еще потребляемые в возрастающих количествах, например, автомобили, весьма угрожают этим ресурсам, о чем уже была речь. Как мы уже сказали, если ныне отсталые народы будут подражать передовым в использовании такой техники – что весьма вероятно – то экологическое бремя ее может оказаться невыносимым для поверхности Земли и ее атмосферы. Вспомним, что лишь строгие законодательные меры спасли города Соединенных Штатов от отравления воздуха, все еще мешающего жить в Токио и Мехико. Те, кто сопротивляется любым таким мерам, должны примириться с необитаемостью городов и целых стран, уже превратившихся в почти сплошные конгломераты городов. Альтернативой является лишь отказ от "городского" типа цивилизации – к чему люди нашего времени вряд ли готовы. Так или иначе, конечность Земли дает о себе знать при каждом вздохе. Как всегда, категорическое следование догме

– например, догме о полном невмешательстве в использование ресурсов Земли – приводит к абсурду, и нужны продуманные компромиссы.

Можно заметить, что в наше время технический прогресс особенно сосредоточен на качестве товаров. Мы уже занимались качеством в главе 5; поскольку одновременное рассмотрение всех трех основных характеристик товара – трудовых затрат S , производительности P и качества Q – потребовало бы усложнения математического аппарата, мы свели там описание товара к двум величинам, себестоимости $C = S/P$ и качества Q . Тогда на плоскости (C, Q) каждый капиталист изображается точкой i с координатами (C_i, Q_i) , означающими себестоимость его продукции (например, в рублях за килограмм) и качество этой продукции (в расчете на единицу продукции, например, на 1 килограмм). На рисунке 7 изображено соответствующее облако точек i , подобно тому, как это было сделано на рисунке 8 главы 5.

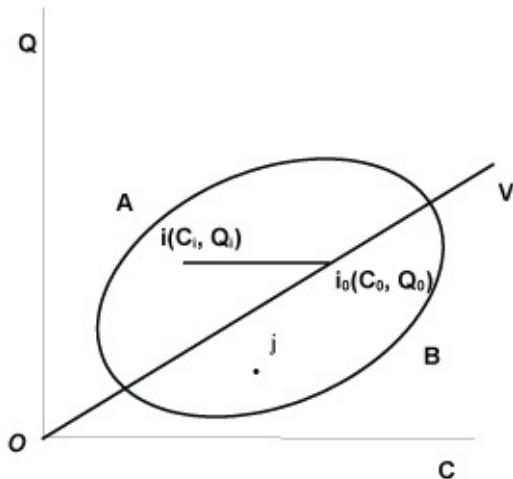


Рис.7

Предположим, далее, что для всех капиталистов i известна также производительность их предприятий P_i . Тогда, если общая производительность всех предприятий облака есть

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n,$$

и если нет дефицита, то требуемое количество товара P меньше P , и можно провести на рисунке 7 прямую V таким образом, чтобы над этой прямой и на ней самой находились предприятия, дающие в точности P единиц товара; нумеруя их числами от 1 до m , имеем

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_m.$$

Точки, изображающие предприятия $1, 2, \dots, m$, занимают некоторую область A , и эти предприятия работают, а остальные, составляющие область B , разорились.

еще, что производительность всех капиталистов P_i не меняется (мы исследуем теперь лишь влияние технического прогресса на *качество* продукции!). Тогда не меняется и состав производителей, остающихся на рынке, поскольку они по-прежнему дают требуемое количество товара P . А это значит, что новая область A_1 отрезается той же прямой V , и цена единицы товара Z_0 остается прежней. Если же "прогресс" приводит к снижению себестоимости единицы качества товара, то есть к уменьшению трудовых затрат на единицу качества, то все точки i_1 на рисунке 8 смещаются влево, и тем самым прямая V приближается к оси Q ; следовательно, ее наклон C_0 / Q_0 уменьшается, и единица качества дешевеет.

Если считать, что при неизменной производительности заработная плата не меняется, то население может потреблять больше единиц качества, чем до "прогресса". Это значит, что потребляемый населением товар имеет большую "полезность" в смысле фон Неймана. Как мы помним, этот термин означает лишь готовность к обмену; но в обычном смысле население будет потреблять товары более высокого качества – что и наблюдается в развитых странах. Это явление описывается весьма неудачным выражением "качество жизни", хотя жизнь вовсе не сводится к потреблению товаров, а другие ее стороны не обязательно улучшаются: достаточно напомнить тему нашей книги – влияние развития техники на среду обитания человека.

Отметим еще, что если технический прогресс не увеличивает объем производства, а только повышает его качество, то предприятия не закрываются (прямая V неподвижна!), и число безработных не обязательно возрастает. Наконец, если даже снижение себестоимости приводит к подъему прямой V , то есть к закрытию части предприятий то возникновение *новых* видов производства создает новые рабочие места, о чем уже была речь в главе 5 ("новые плоскости (C, Q) "). Таким образом, направленность прогресса в сторону качества и новых видов производства несомненно повышает уровень жизни населения. Первым, кто это понял, был Оуэн.

"Теории стоимости"

Понятие "стоимости" товара, о котором мы считаем нужным сказать несколько слов, не следует смешивать с его рыночной ценой: это особая теоретическая концепция, введенная Рикардо; для отчетливого различения ее от рыночной стоимости мы ставим этот термин в кавычки. Рикардо полагал, что каждому изделию можно приписать числовую характеристику, в некотором смысле выражающую его "внутреннюю ценность" и не зависящую ни от способа его изготовления, ни от условий рынка, где предлагается этот товар. Рикардо был великий ученый, объяснивший многие экономические явления, например, образование ренты; но понятие "стоимости" (в котором он сам сомневался в конце жизни) стало одним из важнейших заблуждений в истории науки, и потому в этой главе, посвященной капитализму, уместно его разобрать. Маркс, во многом бывший последователем Рикардо и распространивший понятие "стоимости" на рабочую силу, полагал, что "стоимость" изделия выше "стоимости" труда, затраченного рабочим на его изготовление, и называл разность между этими величинами "прибавочной стоимостью". Маркс полагал, что открыл в "прибавочной стоимости" секрет капиталистической "эксплуатации рабочих" и тем самым научно обосновал это представление, до него проявлявшееся в виде морального негодования. Откладывая пока вопрос об "эксплуатации", попытаемся понять, насколько основательно само понятие "стоимости".

Возникновение его несомненно коренится в научной атмосфере эпохи, когда оно появилось, – начала девятнадцатого века. В то время образцом точной науки считалась механика, а в механике были уже разработаны понятия массы и энергии; до этого закон сохранения массы был высказан Лавуазье, а закон сохранения энергии в его механической форме был хорошо известен, хотя и без термина "энергия" (в середине века, когда Маркс работал над "Капиталом", этот закон был уже выражен в общей форме и подтвержден опытами Джоуля). Понятие энергии особенно близко по своей структуре к тому, что имел в виду Рикардо.

В механике каждое тело имеет числовые характеристики, из которых энергия тесно связана с понятием работы. Энергия зависит от состояния тела: движущееся тело имеет б'ольшую энергию, чем неподвижное, а поднятое над землей – б'ольшую, чем лежащее на земле. Чтобы перевести тело из одного состояния в другое, надо выполнить работу, и величина этой

работы, по определению, принимается за приращение энергии при переходе в новое состояние: если работа при переходе тела из состояния А в состояние В равна $W(A,B)$, и если обозначить энергию тела в состоянии А через $U(A)$, а в состоянии В через $U(B)$, то изменение энергии определяется формулой

$$U(B) - U(A) = W(A,B)$$

Чтобы эта формула имела смысл, необходимо, чтобы работа, стоящая в правой части, не зависела от способа перехода тела из одного состояния в другое, а полностью определялась начальным и конечным состояниями. В механике уже в конце восемнадцатого века были известны условия, при которых это верно; этим условиям удовлетворяли изученные в то время силы, такие, как сила тяготения или электростатическая сила, и работа выражалась через эти силы. Далее, предыдущая формула определяет, собственно, не самую энергию, а лишь ее приращение: чтобы приписать энергии определенное значение, надо принять за нуль энергию в некотором начальном состоянии, например, А; тогда для любого состояния В определяется число $U(B)$. Произвол в выборе начального состояния означает, что в механике имеет значение не численное значение, а лишь изменение энергии при изменении состояния тела. В предыдущем определении важно, что значение работы может быть вычислено с помощью однозначной процедуры, как только указаны начальное и конечное состояния тела.

Рикардо исходил из того, что изделие, выступающее в готовом виде в качестве товара, тоже переводится из одного состояния в другое с помощью работы: оно является на фабрику в виде сырья или полуфабриката и обрабатывается там до требуемого вида. Он полагал, что на каждой стадии обработки можно приписать изделию некоторую числовую характеристику, возрастающую на затраченную работу, и эту гипотетическую характеристику назвал "стоимостью". До сих пор аналогия с механикой кажется ясной: надо только суметь вычислить работу по изготовлению изделия и доказать, что она не зависит от способа превращения этого изделия из начального состояния в конечное. Рикардо пытался измерить работу над изделием часами рабочего времени, затраченными на эту работу, но столкнулся здесь с затруднениями, которые не смог преодолеть никто из экономистов. В самом деле, разные рабочие могут иметь различные навыки, могут использоваться различные технологии, и применение машин резко изменяет необходимое для обработки время. Один и тот же результат, в отличие от механики, может быть достигнут с приложением разной работы. Отдавая себе в этом отчет, Рикардо пытался

учесть технологию, применяемую в данном месте в данное время, и говорил об "общественно необходимом" рабочем времени, то есть о среднем времени, необходимом для изготовления изделия при заданных технических условиях. Но тогда "стоимость" изделия зависит от весьма сложных условий производства, не допускающих однозначного описания, то есть в отличие от энергии "стоимость" *невычислима*. Это понятие оказалось непохожим на понятия современной науки и столь же бесполезным для исследования конкретных явлений, как те "сущности", которые Аристотель приписывал всем вещам, к большому ущербу для развития науки. "Стоимость" – это схоластическое построение, которое не проясняет, а запутывает экономические вопросы.

Природа капитализма

Капитализм можно определить как способ производства, в основе которого лежит рынок труда. Отвратительное свойство рынка труда состоит в том, что товаром на этом рынке является человек. Конечно, можно сказать, что рабочий продает не самого себя, а свой труд в течение определенной части суток, и с научной точки зрения предыдущее утверждение неточно. Но труд этот происходит в условиях полной зависимости от предпринимателя и напоминает рабство еще и в том отношении, что произведенный продукт, как правило, для рабочего безразличен, не связан с его эмоциями и личными склонностями, а часто даже ему непонятен. Применение машин придало труду рабочего механический характер, сводя его к повторению нескольких однообразных движений. Этот труд еще хуже, чем труд батрака, все же осмысленный и происходящий в естественных условиях. Крестьянин, работавший на своей земле, или ремесленник, работавший в своей мастерской, был независимый предприниматель, самостоятельно решавший свои дела и бравший на себя связанный с этим риск. Можно думать, что его положение более соответствовало достоинству человека, чем положение современного рабочего, труд которого, как правило, мог бы выполнять и робот, если бы роботы были бы столь же дешевы, как он. Можно рассчитывать, что роботы станут дешевле и избавят людей от такого труда. В наше время большая часть наемных работников может работать на дому, наподобие ремесленников.

Против высказанных выше мнений нередко возражали, говоря, что всякая работа утомительна и однообразна, что вообще труд является проклятием человеческого рода (наказанием за первородный грех, если вы в это верите), и что все неприятности наемного труда искупаются отсутствием личной ответственности и более высоким уровнем потребления. Далее, утверждали, что в любом обществе люди связаны взаимными зависимостями, и что зависимость крестьянина от феодала или ремесленника от цеховых правил была ничуть не лучше зависимости от предпринимателя, с которым рабочий может порвать, когда захочет. Нельзя отрицать, что эти соображения не лишены смысла: наши предпочтения во многом определяются отвращением к тому, что мы знаем, и иллюзиями относительно того, чего мы не знаем по собственному опыту. Иллюзии по поводу прошлого всегда сомнительны, и все попытки вернуться к

прошлому обречены на неудачу. И все же нам кажется, что в основе только что изложенных рассуждений лежит пессимизм, убеждение в обреченности человека, тогда как предыдущая точка зрения – разделяемая авторами этой книги – по крайней мере допускает возможность изменения существующих условий. Всякий, кому довелось работать на заводе или обслуживать какую-нибудь машину только для заработка, знает, что он *не хотел* этого делать, и что никто этого не хочет. Чем скорее такую работу станут выполнять роботы, тем лучше – хотя тогда возникнет проблема, чем занять всех этих людей, не знающих ничего лучшего. Но пока существуют наемные рабочие (или наемные служащие), остается проблема эксплуатации.

Моральное негодование, вызываемое "эксплуатацией" наемных рабочих, вовсе не зависит от различных "теорий стоимости". Оно связано не с научными доказательствами, а с унаследованной нами системой ценностей, осуждающей незаслуженное присвоение ренты и специфическое, недостойное человека положение товара. Существование ренты не вызывает сомнений. С моральной стороны вопрос состоит в том, имеет ли капиталист право на получаемую им ренту. Если даже он вкладывает значительную часть этой ренты в расширение или усовершенствование производства, то все же он действует не так, как это делал бы менеджер, заботящийся об успехе предприятия: он сам решает, какую часть дохода вложить, и какую оставить себе. При этом он давно уже не тот "организатор производства", какими были его предшественники: работу управления и развития чаще всего выполняют наемные менеджеры и инженеры. В общем случае капиталисту достается трудно вычисляемая, но значительная доля ренты, связанная не с его трудом, а с его положением собственника; многие полагают, что присвоение этой ренты "незаслуженно": это и называют "эксплуатацией". Конечно, суждение о том, "заслужена" или нет такая награда, зависит от принятых ценностей и не относится к экономической науке. Сомнительные рассуждения о "прибавочной стоимости" ничего не могут добавить к этому вопросу. Риск предпринимателя разделяют с ним его рабочие; к тому же, у него обычно не одно предприятие.

Верно, что капиталистическое производство в конечном счете (после столетий "дикого" капитализма) привело к значительному повышению жизненного уровня населения. Существование такого производства, может быть, просто требует существования капиталистов, и тогда их вознаграждение вовсе не относится к их личным заслугам, а составляет неизбежный налог, обеспечивающий возможность такого "общества

изобилия". Такое "экзистенциальное" оправдание капиталистов вряд ли понравится им самим, потому что отводит им роль полезных для общества паразитов – но все-таки паразитов. Если это не так, то надо присмотреться, что делают для производства люди, получающие от него ренту.

Надо отметить, что современный капитализм далеко отошел от правил свободного рынка, и не только вследствие государственного вмешательства. Особенно вредные для общества черты современного капитализма – это монополии и безответственная реклама.

Еще одно необходимое замечание касается связи капитализма с развитием науки и техники. Конечно, научное мышление возникло и развивалось независимо от капитализма, о чем свидетельствует история математики и астрономии; уже в средние века были сделаны выдающиеся изобретения: достаточно упомянуть магнитный компас, огнестрельное оружие и книгопечатание. Но до семнадцатого века научные открытия и изобретения были редки и случайны. Несомненно, ориентация на систематические научные и технические исследования была связана с началом капитализма. Эта ориентация способствовала развитию производства, удовлетворяя возникшую потребность. Она в значительной степени отражала специфический склад ума в протестантских странах: роль Англии и Голландии в создании естествознания и техники хорошо известна. Высокий статус науки в этих странах определялся тем же стремлением к внешнему преуспеянию, которое Макс Вебер считал общим признаком капитализма и связывал с психологией кальвинистов.

Впрочем, ученые и инженеры не имеют особых причин любить капитализм: если кто-нибудь и подвергается эксплуатации при этом строе, то прежде всего они. Ведь они получают (в Соединенных Штатах) около 6% прибыли от своих изобретений, если даже их проекты не кладут в сейф, отказываясь их осуществить! Между тем, без этих изобретений попросту не было бы капитализма: его создало развивающееся машинное производство или, как принято говорить, "научно-технический прогресс".

Общественное значение ренты

Как мы видели, явление ренты имеет очень общий характер и встречается задолго до появления денег, даже – в некотором смысле – в животном мире. Самый общий смысл его состоит в том, что индивид извлекает выгоды из занимаемого им положения, не зависящие от прилагаемых им усилий. В человеческом обществе положение, занимаемое индивидом, или его "статус", закрепляется обычаем или юридическими актами, что в сущности одно и то же, поскольку повиновение людей юридическим нормам тоже составляет обычай – более или менее формализованный, в зависимости от уровня цивилизации.

Причины, по которым в данном обществе признается тот или иной статус индивида, могут быть весьма различны: это может быть положение вождя или жреца в первобытном племени, завоевателя в побежденной стране, чиновника в тоталитарном государстве и, наконец, положение собственника. Вождь или жрец должны время от времени подтверждать свой статус поступками; завоеватель или бюрократ может внезапно его потерять. Самая устойчивая – и в то же время самая абстрактная – форма ренты связана с собственностью, которая приобрела в некоторых обществах почти священный характер. Собственник получает регулярные доходы лишь по той причине, что у него есть определенные бумаги, обозначающие его статус и признанные государством. Как правило, окружающие не интересуются, каким путем он приобрел эти бумаги, или довольствуются на этот счет ребяческой мифологией "классического" капитализма. Как признал в конце жизни Токвиль, предполагается, что институт частной собственности выгоден для общества, потому что без него не умеют обойтись. Точнее говоря, известно, что любительские попытки перемещения ренты, без учета экономических фактов, привели к большим бедствиям. Основной вопрос истории – кому достается рента.

Глава 8. Как бороться с безработицей

Проблема безработицы

Эта проблема характерна для капитализма, поскольку безработица порождается рынком труда. При наличии рынка труда должна быть и безработица, если только по какой-нибудь причине спрос на рабочую силу не превышает предложения. Этот особый случай – дефицит рабочей силы – как и дефицит любого товара, не удовлетворяет условиям свободного рынка, и мы его здесь не рассматриваем. Безработица безусловно связана с техническим прогрессом, но может быть и без всякого прогресса. Прогресс играет двоякую роль: он может и уменьшать, и увеличивать число рабочих мест. Когда делается изобретение или вводится некоторое техническое новшество, множество рабочих оказывается излишним. Вытеснение рабочих машинами было особенно заметно в начальный период капитализма в Англии, в конце восемнадцатого и первой половине девятнадцатого века, где это явление вызвало массовый протест рабочих – "луддитов", ломавших машины. Маркс далеко экстраполировал эту тенденцию своего времени. Он предполагал, что технический прогресс неизбежно ведет к безработице все большего числа людей, которые вынуждены будут соглашаться на все более низкую заработную плату. Технический прогресс, по его представлению, непременно будет стимулировать свое дальнейшее развитие, поскольку безжалостная конкуренция будет вынуждать капиталиста вводить всевозможные усовершенствования производства. Излишние рабочие будут увольняться, а безработица позволит капиталисту снижать заработную плату работающих. Из этого предполагаемого механизма, напоминающего то, что теперь называется "положительной обратной связью", Маркс вывел свой "закон абсолютного обнищания рабочего класса" и следующие из него социальные предсказания. Неправильность этих предсказаний, которые начали нарушаться уже при жизни Маркса и были полностью опровергнуты в двадцатом веке, опять-таки связана с качеством:

(1) Рост производительности труда Маркс понимал таким образом, что будут производиться одни и те же, одинаковые продукты, но меньшим числом рабочих рук. В действительности же стали производить продукцию более высокого качества, отчего необходимая рабочая сила и ее квалификация могли даже возрасть.

(2) Поскольку рабочему оплачивают качество его труда (что Маркс не принимал во внимание), повышается "качество жизни": это значит, что

удешевление товаров высокого качества делает их доступными также и для низкооплачиваемых слоев населения. Далее, Маркс не предвидел появления новых потребностей (новых "плоскостей" (C,Q), см. рис.5 главы 5). Скорость возникновения таких потребностей может отчасти компенсировать сокращение занятости от введения новых машин, что и произошло. Таким образом прогресс создает новые рабочие места, в новых специальностях.

Естественно, борьба с безработицей требует увеличения занятости людей. Может оказаться поэтому, что основная концепция двух предыдущих глав – концепция экономии труда – угрожает вызвать новую волну безработицы. С другой стороны, стремление во что бы то ни стало что-то производить, хотя бы и продукты все более высокого качества, разрушает нашу среду обитания. Чтобы найти выход из сложившегося положения, надо подвергнуть проблему безработицы специальному анализу. Для этого мы используем метод фазовых портретов.

Фазовый портрет доходов населения

Будем откладывать по оси абсцисс величину годового дохода человека в нынешнем году K , а по оси ординат величину дохода того же лица в следующем году M . Предположим, что мы исследуем группу людей с однотипной деловой активностью, и эта однотипность выражается в том, что фазовый портрет группы на плоскости (K, M) достаточно узок, так что его можно представить в виде кривой (ср. рис.3 главы 1). Это значит, что доход члена рассматриваемой группы в текущем году практически определяет его доход в следующем году: M есть функция от K .

Один из возможных фазовых портретов изображен на графике рисунка 1. Объяснить такой график можно, предположив, что люди тратят на жизнеобеспечение фиксированную сумму $D_{\min}$ из своего дохода D , а избыток – на увеличение дохода. Согласно этому графику, если доход D_n в некотором году n оказался выше прожиточного минимума $D_{\min}$, то величина D_n будет неограниченно возрастать – и с каждым годом все больше: из рисунка 1 следует $M - D_{\min} = q(K - D_{\min})$, где $q > 1$, откуда, полагая $K = D_n$, $M = D_{n+1}$, имеем $D_{n+1} = qD_n + (1 - q)D_{\min}$. Ясно, что такое обогащение благоразумного вкладчика денег не может продолжаться слишком долго, уже вследствие ограниченности ресурсов, так что прямолинейная часть графика рисунка 1 должна быть заменена кривой более умеренного роста. С другой стороны, если доход K в некотором году оказался меньше $D_{\min}$, то в следующем году доход M обратится в нуль, и такой человек должен погибнуть. Это нередко и происходило в эпоху "неограниченного" капитализма, когда о бедных людях заботились лишь филантропы, если таковые находились.

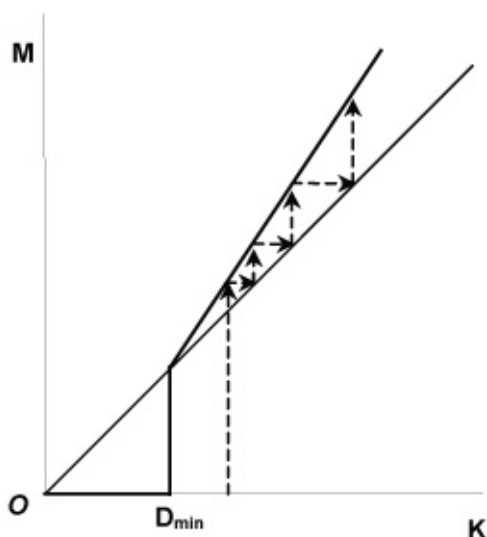


Рис.1

В настоящее время, главным образом благодаря усилиям западных социал-демократов, в промышленно развитых странах наиболее распространен фазовый портрет, изображенный на рисунке 2. Слишком удачливые люди уже не богатеют до бесконечности – имеются прогрессивный подоходный налог, прогрессивный налог на наследство и программы поддержки мелкого бизнеса, в какой-то мере препятствующие разорять менее преуспевших. Как можно видеть из правой части фазового портрета 2, начиная с уровня 3 доходы больше не растут. Таким образом, на фазовом портрете имеется устойчивая стационарная точка 3. Левая часть портрета свидетельствует о том, что у всех есть некоторый ненулевой доход. Обычно имеется минимальный уровень заработной платы

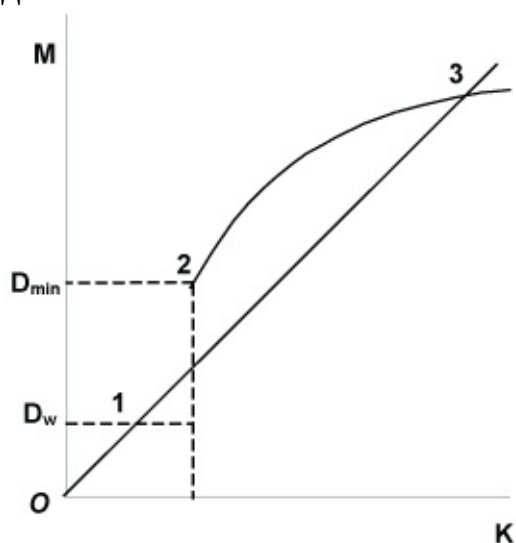


Рис.2

$D_{\min}$ для работающих, а если у человека нет никакой работы, то он имеет право на фиксированное по величине пособие по безработице D_w . На рисунке 2 изображен, казалось бы, естественный случай, когда минимальная заработная плата выше пособия по безработице. Во многих странах за строгим соблюдением графика 2 строго следят – приставленные к этому чиновники проверяют, чтобы безработные, получающие пособие, ни в коем случае не работали.

На фазовом портрете 2 есть, кроме устойчивой стационарной точки 3, при которой человек получает доход, намного больший минимальной заработной платы, еще неустойчивая стационарная точка 2, правее которой заработная плата возрастает, а левее – заменяется пособием по безработице, и еще одна устойчивая точка 1 – точка устойчивой безработицы. Сложная форма графика 2 поддерживается искусственно – армией налоговых инспекторов и инспекторами, следящими за безработными. Пока действует график 2, безработицу не победить – она устойчива. При этом механизмы, обеспечивающие такой вид фазового портрета, могут быть в разных случаях различны; они могут быть различны и для разных участков фазовой кривой. Такого рода портреты можно строить на основе реальной статистики динамики годовых доходов: они имеют, в некотором смысле, феноменологический статус.

С портретом 2 – самым обычным в промышленно развитых странах – можно сопоставить простой фазовый портрет рисунка 3, при котором безработицы как устойчивого явления нет. По-видимому, такой график появляется, если всем без исключения – работающим или нет – платят пособие чуть выше прожиточного минимума, и ни за чем больше не следят: кто сколько заработает, пусть столько и тратит. Конечно, можно вводить и прогрессивный налог, но это не всегда нужно: единственную устойчивую точку фазового портрета удержат от ухода в бесконечность конкуренция и ограниченность общих ресурсов. И, конечно, с голоду никто не умрет! Особенность фазового портрета 3 состоит в том, что безработным теперь не запрещают работать – перестают отнимать пособие, если человек нашел работу.

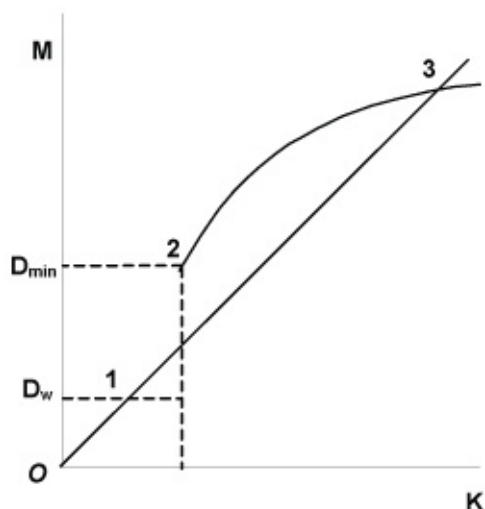


Рис.3

Конечно, заманчивый проект рисунка 3 можно предложить только в богатых странах, способных без особого обременения общества в целом платить всем гражданам минимальное пособие. Но и в этих странах введение такого плана вызвало бы серьезное сопротивление, так как "пособия" всегда рассматривались как нечто вроде милостыни бедным, и люди вряд ли поняли бы, что имеет смысл выплачивать их также и *не* бедным, в виде разумной меры, устраняющей бедствие безработицы. И, разумеется, в бедных странах вроде нашей, где люди – работающие или нет – чаще всего лишены даже прожиточного минимума, проблема безработицы не может быть решена простым изменением фазовой кривой.

Уже на уровне моделирования простейшими фазовыми портретами ясно, что кроме проблемы общего числа рабочих мест есть и проблема раздела уже имеющихся рабочих мест. При одном и том же числе рабочих мест может существовать устойчивый класс безработных, а может и не быть такого класса. Устойчивый класс безработных возникает не из-за дефицита работы, который сам по себе не приводит к такому явлению, а просто потому, что безработным запрещено работать. Именно этот запрет разрушает естественную в ряде случаев тенденцию раздела имеющейся работы между всеми желающими – тенденцию, при которой, вместе с ростом производительности труда, падала бы напряженность рутинной трудовой деятельности работающих, и появлялись бы новые возможности делать труд более осмысленным, а производство – более экономичным и экологичным.

Реальная ситуация может быть намного сложнее описываемой простейшими фазовыми портретами. Не всегда очевидно, например, что попытки искусственно превратить кривую 2 в кривую 1, снижая величину

пособия, приведут к успеху: люди могут записываться в безработные, раз чиновники и официально работающие этого хотят, но при этом иметь нелегальную работу и фактически жить согласно верхней части графика 2 (или в некотором более сложном режиме).

Отметим еще, что если какой-нибудь товар или услуга могут производиться без первоначального капитала, то человек может сразу стать предпринимателем и тем самым уйти с рынка рабочей силы. Так обстояло дело в Соединенных Штатах в прошлом веке, когда легко было стать фермером; это способствовало поддержанию относительно высокой заработной платы в американской промышленности. Аналогичное явление было и в России, где люди уходили в Сибирь. Теперь у нас простейший способ уйти с рынка рабочей силы представляет мелкая торговля. Если человек может перестать быть рабочим, это может определять минимальную заработную плату $D_{\min}$ на рисунке 2 и без законодательных ограничений.

По поводу дефицита работы можно заметить, что этот дефицит с легкостью поглотили бы области деятельности, связанные с преодолением экологического кризиса. Одной из экологических мер является строительство дорог, так как дороги открывают доступ к новым территориям, повышая их ценность. В некотором смысле пионерскую роль сыграли здесь проекты правительства Рузвельта в эпоху "Нового Курса" ("New Deal"), разрядившие социальную напряженность во время кризиса 1929 – 1932 годов. Меры этого правительства, по существу, спасли от катастрофы капиталистическую систему, но в Соединенных Штатах не все усвоили этот исторический урок. Конечно, значительные затраты на предотвращение экологических бедствий могут вызвать недовольство налогоплательщиков. Поэтому важно, чтобы такие проекты составлялись на твердой научной основе, и чтобы их необходимость была разъяснена общественности.

Глава 9. Рынок экологических объектов и конкуренция за их использование

Конкуренция ресурсов

Теперь мы переходим к особому виду рынка, который можно было бы назвать "рынком экологических объектов". Чтобы эти объекты стали частью рыночного хозяйства, они должны, прежде всего, иметь качество, допускающее количественную оценку. Некоторые из них, например, сельскохозяйственные угодья, давно уже имеют цену, которую мы обозначим через Q ; как мы знаем, она задается равенством

$$Q = DS \times 100 / P,$$

где DS – рента (выигрыш в затратах) для участка земли, p (%) – норма прибыли в сельском хозяйстве для данной страны или местности. Цена земли лишь отчасти зависит от природы, потому что владелец земли улучшает ее, увеличивая ее урожайность, или ухудшает, эксплуатируя ее без надлежащих мер для сохранения ее качества. Точно так же оцениваются и другие угодья, уже находящиеся в сельскохозяйственном обороте. То обстоятельство, что эти угодья можно продавать, входит, естественно, в определение свободного рынка объектов природы. Аналогичным образом, многие объекты, созданные человеком, оцениваются в зависимости от окружающих природных условий – например, дома, но о таких случаях мы не будем здесь говорить, потому что качество таких объектов, давно уже вошедших в рыночное хозяйство, может быть определено и их рыночной ценой, и обычными процедурами фон Неймана, описанными в главе 5.

То же относится, например, к лесным участкам, где ведется вырубка леса. Значительно сложнее оценить качество участков, служащих для отдыха (или, как говорят на ученом языке, для "рекреации" населения). Можно, например, представить себе, что некоторый такой участок уже используется для рекреации, исполняя роль пригородного парка (как, например, знаменитые красноярские Столбы – пригородный участок леса, где находятся живописные скалы, излюбленные жителями города для скалолазания, или просто придающие добавочный интерес прогулкам). Вход на территорию Столбов бесплатен, но можно было бы, как это нередко делается, установить путем опроса, какую сумму согласились бы в среднем платить их посетители, если бы за их посещение была установлена плата, и определить таким образом цену входного билета. Умножив эту сумму на среднегодовое число посетителей, можно было бы рассматривать полученное число как "ренту" владельца Столбов, получаемую им от рекреации; и в самом деле, подобные предприятия

существуют уже в ряде стран – например, как уже говорилось, в Канаде. Наконец, лесные участки дают кислород, воду, озон и другие необходимые блага, так что их следует оценивать и в тех случаях, когда отдаленность или недоступность делает их неудобными для рекреации.

Представим себе, что есть остров, жители которого используют имеющиеся на нем леса для рекреации. Разобьем пригодные для этого места на участки в 1 га и определим для каждого такого участка i его качество Q_i . Далее, для каждого участка i можно определить его "себестоимость" – сумму затрат S_i на его содержание, куда могут войти средства, необходимые для сохранения леса (персонал лесной охраны, борьба с болезнями леса, лесопосадки, очистка леса), стоимость подъездных путей и т.п. На рис.1 каждый участок рекреационного леса изображается точкой i с координатами S_i, Q_i .

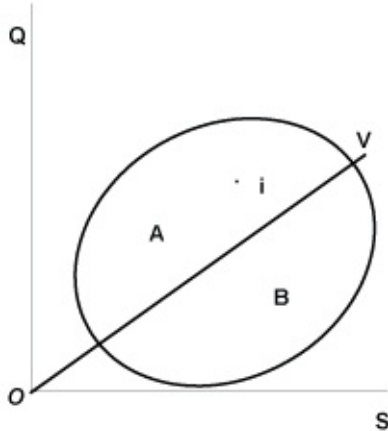


Рис.1

Пусть население острова составляют N человек, а рекреационная норма (минимальная площадь, необходимая для рекреации одного человека) равна R . Тогда общая площадь леса, необходимая для рекреации населения, равна $G = NR$. Чтобы определить, какие из участков следует использовать для рекреации, предположим, что суммарная площадь участков больше G , и проведем прямую V (рис.1) таким образом, чтобы число точек выше V и на самой V было равно G . Соответствующие участки i (область A) будут использоваться для рекреации, а остальные (область B) не будут. Как и в случае пахотных участков, отношение S/Q , постоянное на прямой V , определяет рыночную цену лесных участков с точки зрения рекреации, то есть предполагая, что им не придается никакая другая полезность. Лес в области B не используется для рекреации, но при возрастании населения прямая V должна опускаться и, следовательно, участки области B должны рассматриваться как "рекреационный резерв".

Это, в частности, препятствует вырубке леса на таких участках. Если на рассматриваемом острове лес используется, кроме рекреации, для вырубки, то возникает задача о взаимодействии экологии и экономики, допускающая математическое моделирование.

Другой пример, на котором мы рассмотрим задачу рационального хозяйствования при наличии у предмета двух видов потребительской полезности, представляет использование речных долин. Эти долины можно использовать для сельского хозяйства, а также для постройки гидростанций, например, в качестве водохранилищ. Рассматриваемый вопрос вызвал у нас много споров, и решался он, как известно, не путем рационального расчета. Термин "долина" употребляется в дальнейшем несколько условно: он не обязательно означает всю долину некоторой реки, а определенную часть речной долины, где можно построить (или не построить) связанные с гидростанцией сооружения. Потребительскую полезность продукции будем измерять ее денежной стоимостью, предполагая, что рыночные цены на интересующие нас виды продукции установились. Пусть полезность сельскохозяйственной продукции речной долины равна Q_1 , а трудовые затраты на нее равны S_1 . Пусть, далее, полезность этой же долины при производстве электроэнергии равна Q_2 , а трудовые затраты на нее равны S_2 . Тогда каждой долине можно сопоставить величины $\Pi_1 = Q_1/S_1$ и $\Pi_2 = Q_2/S_2$, характеризующие ее удельную полезность в расчете на единицу трудовых затрат, соответственно, при сельскохозяйственном использовании и при использовании для производства электроэнергии. Можно нарисовать схему, на которой речные долины будут представлены в виде точек с координатами Π_1, Π_2 (рис.2). Можно даже представить себе, что эта схема – условная карта местности, где все так устроено, что долины на востоке (справа на схеме) оказываются удобными для крестьян, а на севере – привлекательными для гидростроителей.

На этой схеме вертикальная линия означает границу, правее которой выгодно производить сельскохозяйственную продукцию – там ее удельная полезность высока – и если использовать таким образом все долины правее этой линии, то общественная потребность в этой продукции будет полностью удовлетворена. Горизонтальная линия означает границу, выше которой выгодно производить электроэнергию – там высока удельная полезность гидростроительства, и если использовать для этой цели все долины выше этой линии, то будет удовлетворена вся потребность в электроэнергии. В долинах зоны А (рис.2) выгодно только сельское

хозяйство, а в долинах зоны В выгодна только гидроэнергетика (мы не касаемся здесь других возможных последствий гидростроительства, кроме потери сельскохозяйственных угодий!). Но возникает еще зона С, где можно и строить плотины, и заниматься сельским хозяйством, поскольку долины этой зоны обладают высокой полезностью в обоих отношениях. Если в этой зоне в самом деле есть долины (иначе все просто), то между крестьянами и гидростроителями неизбежно возникнут споры: северо-восточная граница будет неспокойной. Конечно, и тем, и другим придется

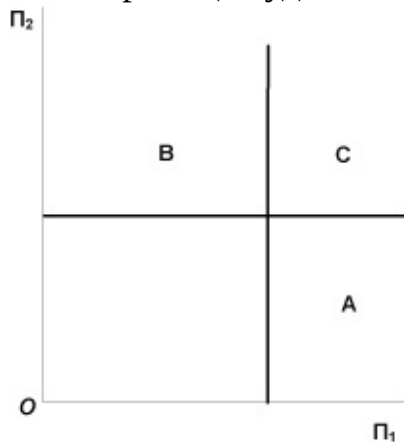


Рис.2

уступить, как-то разделив зону С между собой. Тогда производство сельскохозяйственной продукции не будет уже достаточно для удовлетворения всех потребностей, так как для этого нужны были все долины правее вертикальной прямой (то есть вся зона А и вся зона С), а часть зоны С отдали гидростроителям. Крестьянам придется заняться менее выгодными долинами, лежавшими раньше левее этой прямой, так что вертикальная прямая сдвинется влево. Аналогично, не хватит энергии, так как часть долин зоны С достанется крестьянам, и гидростроителям придется работать в менее выгодных для них долинах, так что и горизонтальная прямая сдвинется вниз. В итоге установится некоторое равновесие, изображенное на рисунке 3 – как мы предполагаем, вследствие мирного компромисса, приемлемого для обеих сторон. При этом в зоне А будут работать только крестьяне, как и в примыкающей к ней зоне К, а гидростроители будут работать в зонах В и L. Между зонами К и L установится, тем самым, некоторая граница, и задача нашего исследования – найти вид этой границы. Отметим, что на схеме рисунка 3 остается еще зона Е – "дикий край", где никто не живет; конечно, при увеличении населения картина, изображенная на рисунке 3, изменится, и часть области Е будет введена в хозяйственный оборот.

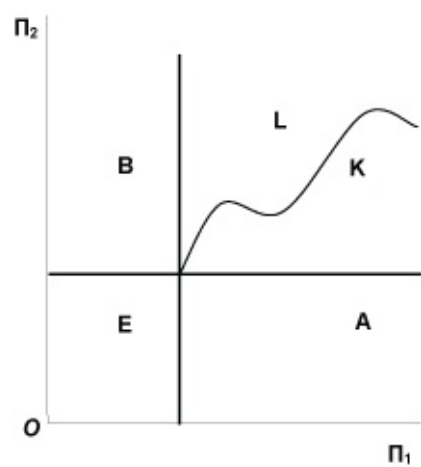


Рис.3

Оптимальный принцип раздела участков

Чтобы установить спорную границу между зонами К и L, нужен некоторый руководящий принцип, приемлемый для обеих конкурирующих сторон. Оказывается, такой принцип можно формулировать следующим образом: распределение территории между крестьянами и гидростроителями должно полностью удовлетворять имеющиеся потребности в сельскохозяйственной продукции и электроэнергии, причем таким образом, чтобы общая сумма трудовых затрат обеих сторон – крестьян и гидростроителей – была минимальной.

Такая формулировка может показаться произвольной – с точки зрения обычных представлений о "неограниченной конкуренции" производителей, интересы которых кажутся противоположными. Конечно, если думать о благе общества в целом, то подобные постановки вопроса вполне естественны. Но для введения правил, подчиняющих частные интересы общественному интересу, нужно далеко идущее гражданское согласие по поводу этих правил – например, кто будет их устанавливать и наблюдать за их выполнением. Хорошо известно, что произвольное и некомпетентное регулирование хозяйственной жизни приводит к разорительным экспериментам, присвоившим себе название "социализма", а при меньшей интенсивности государственного вмешательства – к засилью бюрократии и подавлению экономической инициативы. Но оказывается, что правильный учет различных интересов позволяет в ряде случаев найти решения, выгодные для всех участвующих сторон и наилучшие возможные при данных природных условиях. Этот факт, иллюстрируемый дальше на примере поставленной выше простой задачи, может бросить новый свет на издавна популярный среди социологов и философов вопрос о "природе человека".

В самом деле, многие из них исходят из принципа, что "человек зол" и всегда стремится удовлетворить свои интересы за счет другого, и что не существует честной торговли. Разумеется, если распределение экономических и экологических благ осуществляется произвольными методами, то можно дойти до прямого насилия, и не всегда удастся доказать "заинтересованным сторонам", что агрессивное поведение обычно не приносит успеха агрессору, а идет на пользу какой-нибудь "третьей" стороне, или даже – парадоксальным образом – побежденным на поле сражения, берущим реванш в мирном экономическом соревновании. Но мы

предположим, что люди решают хозяйственные вопросы мирным путем, посредством взаимных компромиссов, и посмотрим, что из этого может получиться в описанной выше "конфликтной" ситуации.

Прежде всего, мы будем считать, что при любом осуществимом на практике распределении участков (которые мы условно назвали "долинами") потребности общества полностью удовлетворяются, то есть производится в точности столько сельскохозяйственной продукции и гидроэнергии, сколько требует уже установившийся рынок. В самом деле, если бы производилось, например, меньше сельскохозяйственной продукции, чем можно продать, то нашлись бы желающие использовать долины, менее выгодные для земледелия, и граница области А на рис.3 сдвинулась бы влево; точно так же, граница области В устанавливается так, чтобы в точности удовлетворялась потребность в энергии.

Будем считать, для простоты, что "полезность" сельскохозяйственной продукции Q_1 , измеряемая ее рыночной ценой, одна и та же для всех долин, и точно так же одинакова цена их энергетической продукции Q_2 . [Конечно, это упрощенное предположение принимается лишь для того, чтобы не вводить сложного математического аппарата. Мы демонстрируем здесь методы, имеющие гораздо более широкие применения] Обозначая через S_1 трудовые затраты на сельскохозяйственную продукцию данной долины, мы ввели выше ее "удельную полезность" Π_1 , т.е. цену продукции в расчете на единицу трудовых затрат

$$\Pi_1 = \frac{Q_1}{S_1},$$

откуда

$$S_1 = \frac{Q_1}{\Pi_1}$$

В отличие от Q_1 , величины S_1 и Π_1 различны для разных долин, так как природные условия в них неодинаковы (для удобства исследования мы можем так выбрать размеры участков, именуемых "долинами", чтобы сделать равной их производительность, но природные условия от нас не зависят!). Точно так же, для энергетической продукции долины имеем

$$S_2 = \frac{Q_2}{\Pi_2},$$

где Q_2 , как мы предположим, одна и та же для всех долин, а S_2 и Π_2 различны. Заметим, что если, как это было сделано выше, размеры участков выбраны таким образом, чтобы у них была одинаковая

сельскохозяйственная полезность Q_1 , то отсюда, конечно, не следует, что их энергетическая полезность Q_2 тоже будет одинакова. Поэтому сделанные выше предположения заведомо относятся к частному случаю интересующей нас задачи. Общий случай также поддается решению – аналогичным методом – но мы ограничиваемся частным случаем для упрощения математического аппарата. На наших рисунках долины характеризуются точками с координатами Π_1, Π_2 , то есть их "удельными полезностями" для обоих видов продукции.

Рассмотрим теперь простую сделку – обмен двух долин: предположим, что из первой долины работавшие там крестьяне переходят во вторую, где работали строители, а те переходят в первую долину. Поскольку, как мы предположили, производительность всех долин по каждому виду продукции одна и та же, такой обмен не противоречит наложенному выше условию полного обеспечения рынка. Для первой долины сохраним прежние обозначения трудовых затрат S_1 и удельной полезности Π_1 , а для второй (теперь используемой крестьянами) обозначим трудовые затраты через S_1' , а удельную полезность через Π_1' . Тогда приращение трудовых затрат на сельскохозяйственную продукцию в результате обмена равно $S_1' - S_1$, причем, в соответствии с математическим способом выражения, "приращение" может быть положительным или отрицательным, в зависимости от того, возрастает S_1 или убывает. Приращение некоторой величины обозначается знаком Δ : ΔS читается как "приращение S ". Поскольку мы имели для первой долины $S_1 = Q_1/\Pi_1$, а для второй аналогично $S_1' = Q_1/\Pi_1'$ (Q во всех долинах одно и то же!), получаем

$$\Delta S_1 = S_1' - S_1 = \frac{Q_1}{\Pi_1'} - \frac{Q_1}{\Pi_1} = Q_1 \left(\frac{1}{\Pi_1'} - \frac{1}{\Pi_1} \right)$$

Точно так же, для строителей, переходящих из второй долины в первую, приращение трудовых затрат на производство энергии равно

$$\Delta S_2 = S_2 - S_2' = \frac{Q_2}{\Pi_2} - \frac{Q_2}{\Pi_2'} = Q_2 \left(\frac{1}{\Pi_2} - \frac{1}{\Pi_2'} \right).$$

Очевидно, обмен возможен лишь в том случае, если он выгоден обеим сторонам (напомним, что допускаются лишь добровольные сделки!). Можно указать два случая, когда обмен будет обоюдно выгоден и потому будет в самом деле происходить. Первый случай – когда обмен снижает трудовые затраты обеих сторон, то есть когда оба приращения S_1, S_2

отрицательны. Второй случай – когда одно из этих приращений положительно, а другое отрицательно, так что выигрывает от обмена лишь одна сторона: пусть выигрывают, например, крестьяне, а гидростроители проигрывают, то есть $\Delta S_1 < 0$, но $\Delta S_2 > 0$. Казалось бы, гидростроители никогда не согласятся на такой обмен. Но рассмотрим частный случай, когда выполнено неравенство

$$\Delta S_1 + \Delta S_2 < 0$$

(заметим, что оно выполнено и в рассмотренном выше первом случае!). Тогда абсолютная величина первого (отрицательного) приращения ΔS_1 больше второго (положительного) приращения ΔS_2 , как это видно из предыдущего неравенства (проверьте это заключение, вспомнив смысл абсолютной величины – см. также наглядную схему на рисунке 4):

$$|\Delta S_1| > \Delta S_2$$

Это значит, что крестьяне получают от обмена выгоду, б`ольшую, чем убыток строителей. Тогда они могут затратить часть этой выгоды, компенсировав строителям их потери, и даже с некоторым избытком, так что обмен окажется выгодным для обеих сторон. Вот поучительный пример честной торговли! Точно то же произойдет, если от обмена непосредственно выиграют строители, а проиграют крестьяне. Оба рассмотренных выше случая (первый и второй, с его двумя вариантами, в зависимости от того, кто выигрывает) суммируются одним и тем же неравенством $\Delta S_1 + \Delta S_2 < 0$.

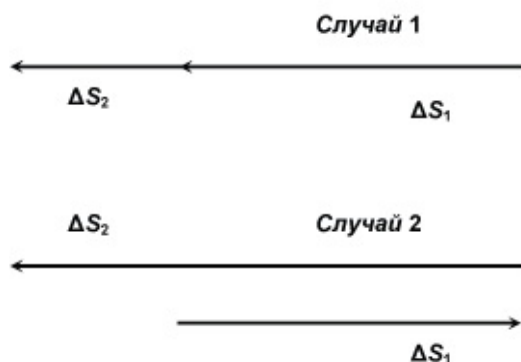


Рис.4

Если это условие выполнено, то обмен будет выгоден для обеих сторон (при надлежащей компенсации), и потому будет происходить. Но при таком обмене общая сумма трудовых затрат на всю продукцию (и сельскохозяйственную, и энергетическую) уменьшится: в самом деле, уменьшение затрат для крестьян, по наложенному условию, превосходит

увеличение затрат для строителей (когда эти последние увеличиваются от обмена), а кроме двух обмениваемых долин, в остальных местах затраты вовсе не меняются. Итак, если S_I означает полную сумму затрат на всю сельскохозяйственную продукцию, а S_{II} – полную сумму затрат на всю энергию, то, при условии

$$\Delta S_1 + \Delta S_2 < 0.$$

сумма $S_I + S_{II}$ уменьшается вследствие обмена.

Вспомним теперь, что в зонах А и В (рис.3) выгодно, соответственно, только сельское хозяйство (в А) и только гидростроительство (в В). Вся трудность состоит в разделе спорной области, где возможны оба вида производства, то есть в определении границы между зоной сельского хозяйства К и зоной гидростроительства L (см. там же, на рис.3). Можно ожидать, что долины будут предметом сделок – купли и продажи – которые в конечном счете сведутся к описанным выше операциям обмена, с возможной компенсацией. Как мы видели, такие обмены обоюдно выгодны и, следовательно, несомненно будут происходить, если выполнено приведенное выше условие $\Delta S_1 + \Delta S_2 < 0$.

Ясно, что чем больше по абсолютной величине отрицательная левая часть этого неравенства, тем выгоднее обмен, так как обе стороны больше выигрывают в его результате. Обмены прекратятся, когда их выигрыш станет равен нулю – и тогда установится окончательная граница между зонами крестьян и гидростроителей. Естественно предположить, что последние обмены произойдут как раз вблизи этой искомой границы, так что на самой границе будет выполняться равенство $\Delta S_1 + \Delta S_2 = 0$.

На рисунке 5а изображен описываемый дальше случай, когда имеет смысл обменять "сельскохозяйственный" участок а, примыкающий к границе со стороны К, на "гидростроительный" участок а', также примыкающий к границе, но со стороны L.

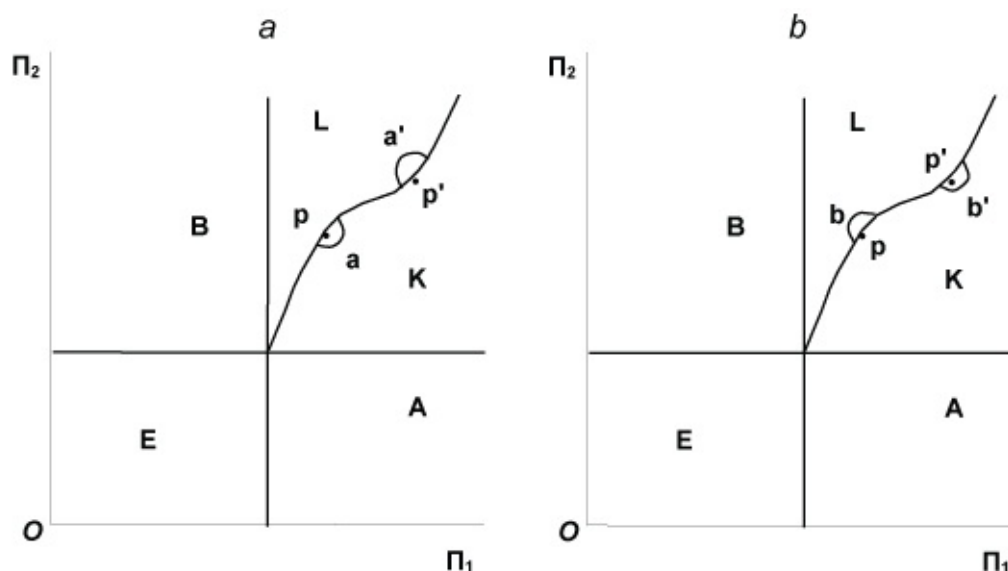


Рис.5а Рис.5б

Подставив в неравенство $\Delta S_1 + \Delta S_2 < 0$, полученные выше выражения для ΔS_1 и ΔS_2 , придадим ему вид

$$\left(\frac{Q_1}{P_1'} - \frac{Q_1}{P_1} \right) + \left(\frac{Q_2}{P_2} - \frac{Q_2}{P_2'} \right) < 0 \quad (\alpha)$$

Это и есть, в подробной записи, условие, при котором происходит обмен участков. Мы будем искать теперь удовлетворяющие ему долины около границы, отделяющей зоны К и L, где такие обмены будут вероятнее всего происходить. Неравенство (α) связывает координаты двух точек: р с координатами (Π_1, Π_2) и р' с координатами (Π_1', Π_2') . Поскольку последние обмены будут происходить вблизи границы, естественно искать точки р и р', удовлетворяющие условию (α) , на самой граничной кривой. Предположим, что такие точки найдутся (см. рис.5а). Допустим, далее, что для них выполнено условие (α) . Тогда оказывается, что можно произвести обмен изображенных на рисунке 5а участков с уменьшением суммы всех трудовых затрат $S_I + S_{II}$. Участки а и а' мы выберем столь малыми, чтобы координаты каждой долины первого из них были очень близки к координатам точки р, а координаты каждой долины второго – очень близки к координатам точки р'. Надо представить себе, что долины малы по сравнению с участками, а участки – по сравнению со всей "картой" 5а, описывающей значительную часть страны и, тем самым, содержащей большое число долин. При такой близости долин к выбранным на кривой точкам для каждой долины участка а и каждой долины участка а' будет все еще выполнено неравенство (α) , в котором первая скобка относится к

долине участка а, а вторая к долине участка а'. Но тогда возможен обмен каждой из долин первого участка на каждую долину второго! Читателю рекомендуется посмотреть выше, каким образом такой обмен обеспечивается неравенством $\Delta S_1 + \Delta S_2 < 0$, равносильным (α). Остается подобрать размеры участков а, а' вблизи точек р, р' так, чтобы они содержали равное число долин, и обменивать все долины первого участка на различные долины второго; тогда сумма всех затрат $S_I + S_{II}$ уменьшится, как было сказано выше.

При таком обмене участков граница между К и L, если смотреть со стороны К, "отступает" вблизи точки р, уступая участок а зоны К, и "наступает" вблизи точки р', захватывая участок а' зоны L. Итак, если на граничной кривой найдутся точки с координатами, удовлетворяющими неравенству (α), то можно уменьшить сумму всех затрат, причем рынок по-прежнему остается обеспеченным продукцией того и другого вида, поскольку это условие соблюдалось в описанных выше обменах.

Но оказывается, что сумму $S_I + S_{II}$ можно уменьшить и в том случае, когда для некоторой пар точек р, р' граничной кривой выполняется противоположное неравенство

$$\left(\frac{Q_1}{\Pi_1} - \frac{Q_1}{\Pi}\right) + \left(\frac{Q_2}{\Pi_2} - \frac{Q_2}{\Pi_2'}\right) > 0. \quad (\beta)$$

В самом деле, рассмотрим рисунок 5б, где b – "энергетический" участок, примыкающий к границе со стороны L, а b' – "сельскохозяйственный" участок, примыкающий к границе со стороны К. Произведем, аналогично предыдущему, обмен участка b' на участок b. При этом в участке b' $S_1 = Q_1/\Pi_1'$, $S_2 = Q_2/\Pi_2'$, а в участке b $S_1 = Q_1/\Pi_1$, $S_2 = Q_2/\Pi_2$ (проверьте эти равенства!). Поэтому приращение S_1 при обмене b' на b равно

$$\Delta S_1 = \frac{Q_1}{\Pi_1} - \frac{Q_1}{\Pi_1'},$$

а приращение

$$\Delta S_2 = \frac{Q_2}{\Pi_2'} - \frac{Q_2}{\Pi_2},$$

Оба последние выражения отличаются лишь знаками от скобок формулы (β); следовательно, для обмена участков b, b' сумма

$$\Delta S_1 + \Delta S_2 < 0.$$

Итак, если на границе найдется пара точек, для которых выполнено

неравенство (β), то опять можно уменьшить полную сумму затрат $S_I + S_{II}$, сдвинув границу, как указано на рисунке 5б! (Проверьте, где граница отступает и где наступает).

Что же означает полученный результат? Если для любой пары точек границы невозможны оба неравенства (α) и (β), это значит, что для любой пары граничных точек выражение в левых частях – то есть сумма $\Delta S_1 + \Delta S_2$ – равна нулю. В координатах это значит, что для любых двух точек p, p' граничной кривой справедливо равенство

$$Q_1\left(\frac{1}{p_1'} - \frac{1}{p_1}\right) + Q_2\left(\frac{1}{p_2} - \frac{1}{p_2'}\right) = 0. \quad (\gamma)$$

Как мы увидим, это равенство позволяет найти форму кривой, разделяющей зоны конкурирующих видов природопользования. Но прежде всего из него видно, что на границе между зонами уже невозможны никакие обмены: граница устанавливается тогда, когда все выгодные сделки между обеими сторонами уже состоялись! Равенство (γ) не позволяет дальше уменьшить общую сумму всех затрат $S_I + S_{II}$, и можно доказать, что в действительности мы нашли распределение долин между конкурентами, делающее эту сумму минимальной [Примененный метод иллюстрирует возможности *вариационного исчисления*. Мы сделали ряд упрощающих предположений, позволивших обойтись средствами школьной алгебры. В более реалистических задачах процедура "варьирования" граничной кривой, изображенная на рисунке 5, требует применения высшей математики]

Это значит, что стихийная деловая активность свободного рынка, описанная выше на примере обменов долинами, приводит к тому же результату, что и решение задачи оптимизации, как будто поставленной в интересах общества в целом! Это и есть то, что мы имели в виду в главе 5, говоря, что свободный рынок в сущности решает ту же задачу, что и действительно оптимальное планирование. Задолго до возникновения современных методов математической экономики это понял основоположник экономической науки Адам Смит. Он пришел – интуитивным путем – к только что высказанному открытию, выражающему, как говорили его современники, "оптимизм" Адама Смита: казалось, что "невидимая рука" рынка невольно направляет к общему благу "эгоистическую" деятельность отдельных производителей, каждый из которых думает только о собственной выгоде. Здесь нет никакого парадокса: эта их деятельность порождает конкуренцию, мобилизующую энергию личного интереса. Иное дело, как этот личный интерес отражается

на личности этих производителей, и какое общество может отсюда произойти. Адам Смит, бывший не только экономистом, но и философом, понимал это гораздо лучше его последователей, "идеологов" свободного рынка. Он утверждал лишь, что свободный рынок обеспечивает наилучшую производительность общественного труда, создавая "богатство наций". В отношении распределения и использования этого богатства он вовсе не был "оптимистом".

Возникает вопрос, почему бы, в самом деле, не заменить свободный рынок (к тому же – все менее свободный в наши дни) прямым оптимальным планированием? К сожалению, действительно оптимальное планирование в масштабах больших хозяйственных организмов представляет трудности, далеко превосходящие понимание бравшихся за него дилетантов. Эти трудности связаны и с навыками мышления и поведения людей, которые очень трудно планировать. Приходится признать, что в обозримом будущем "оптимизировать" народное хозяйство будет по-прежнему рынок.

Это вовсе не значит, что методы математической оптимизации не нужны. Напротив, они дают ответы на очень важные, хотя и частные вопросы – столь важные, что без помощи этих методов человечество вряд ли сможет выжить в техническом мире, созданном им самим.

Нам осталось определить точную форму кривой, разделяющей области конкурентов К и Л. Эта кривая оказывается *гиперболой*, может быть, известной читателю из школьного курса, где она встречается при исследовании элементарных функций. Окончательное решение поставленной нами задачи оптимизации видно на рисунке 6.

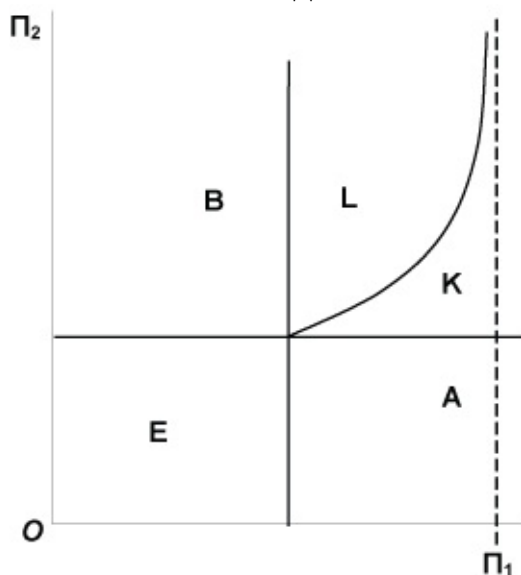


Рис.6

Для тех, кто не страшится простейших выкладок аналитической геометрии, приведем доказательство, что мы действительно получили гиперболу.

Уравнение (у) содержит координаты двух точек, лежащих на искомой кривой – $r(P_1, P_2)$ и $r'(P_1', P_2')$ (тогда как Q_1 и Q_2 – постоянные, задающие производительность "долин"), и при любом выборе

этих точек должно выполняться равенство . Фиксируем точку r' (то есть ее координаты P_1', P_2'), а точку r заставим пробегать граничную кривую. Тогда координаты P_1 ,

P_2 точки r ("текущие координаты" на кривой, как говорят в аналитической геометрии) удовлетворяют уравнению , где все остальные буквы надо считать постоянными. Перепишем это уравнение в виде

$$\frac{Q_2}{P_2} - \frac{Q_1}{P_1} = \frac{Q_2}{P_1'} - \frac{Q_1}{P_2'}$$

и обозначим правую часть через a , P_1 через x , P_2 через y . Тогда имеем

$$\frac{Q_2}{y} - \frac{Q_1}{x} = a,$$

или

$$Q_2 x - Q_1 y = axy$$

Чтобы упростить это уравнение, сдвинем координатные оси x, y на расстояния x_0, y_0 :

$$x = x_0 + x', \quad y = y_0 + y',$$

где x, y – координаты точки r в новых осях. Имеем

$$Q_2 x' - Q_1 y' + Q_2 x_0 - Q_1 y_0 = a(x' + x_0)(y' + y_0),$$

$$ax'y' + x'(ay_0 - Q_2) + y'(ax_0 - Q_1) = Q_2 x_0 - Q_1 y_0 - ax_0 y_0.$$

Подберем сдвиги x_0, y_0 так, чтобы скобки слева обратились в нуль, подставим эти числа в правую часть и обозначим полученное число через ac . Сокращая на a , получаем уравнение гиперболы:

$$x'y' = c \text{ (или } y' = c / x' \text{)}.$$

Это и есть искомая кривая, делящая правый верхний угол на области L, K. Гипербола не может пересекать границы областей A и B, так как по обе стороны ее лежат долины разного назначения, а в областях A и B – только одного (сельское хозяйство в B, гидростроительство в A). Следовательно, она проходит через угловую точку прямоугольника C.

Глава 10. Долговременные ориентиры в экономике и экологии

В этой книге мы рассматриваем экономику и экологию в их неразрывной связи, как только и можно их рассматривать: ведь если даже вовсе не заботиться об экологических последствиях промышленной деятельности, такие последствия неизбежны, так что связь эта во всех случаях существует. Более того, как мы видели в начале четвертой главы, экологические объекты, "бесплатно" доставляемые нам природой, имеют тенденцию превращаться в товары: в так называемых "цивилизованных" странах земля и лес давно уже имеют рыночную цену, по которой их продают и покупают. Как мы уже говорили, при нынешнем уровне воспитания людей единственный способ спасти от разрушения окружающую нас природу состоит в последовательной денежной оценке экологических благ и в закреплении их за определенными владельцами, заинтересованными в их сохранении, – точно так же, как частные лица и фирмы заинтересованы в сохранении любого своего имущества. Собственником может быть и государство, если оно докажет, что способно эффективно защищать природу. В Канаде много экологических ценностей считается собственностью королевы – то есть по существу государственной собственностью – и это вполне допустимо, потому что государство там способно заботиться об этих богатствах, не нарушая законные права граждан. В России же, напротив, "государственная собственность" по существу не охраняется и беззастенчиво эксплуатируется чиновниками: в этом случае государству нельзя разрешить собственность над природой. Законы в этом случае, как и в других, должны считаться с реальными условиями страны.

"Экологические" товары отличаются от большей части человеческих изделий тем, что они эксплуатируются в течение длительного времени, обычно намного превышающего продолжительность человеческой жизни. Если обозначить среднее время жизни человека через T (порядок этой величины – 100 лет) [Порядком величины называется ближайшая к ней степень десяти. Для человеческой жизни такой степенью является вторая], а время использования некоторого товара через t , то для многих товаров повседневного потребления (читается: намного меньше T). Таковы товары, рассмотренные в "динамике продаж" главы 6, такие, как булка хлеба, тюбик

зубной пасты или пара ботинок: все они используются человеком недолго. Другие товары – так называемые "товары долговременного пользования" – могут служить человеку долгие годы или всю жизнь: таковы машины, дома и предприятия. В этих случаях время использования сравнимо с длительностью жизни, или даже ее превышает. Автомобиль может служить много лет, но его меняют, следуя моде; дом сплошь и рядом переживает своего владельца; что же касается предприятий, то в современных условиях их оборудование приходится обновлять не реже чем раз в десять лет. Если рассматривать имущество как источник дохода, то завод – хлопотливое и не очень безопасное имущество: в частности, нет уверенности, что его можно будет оставить в наследство своим детям, потому что в наше время быстро устаревают целые отрасли производства. Надежными источниками дохода истари считались "классические" виды недвижимого имущества – дома и особенно земельные владения. До возникновения капитализма, и даже долгое время после этого одним из главных стимулов поведения собственника было стремление оставить доходное имущество своим наследникам.

"Параметр эгоизма"

Как мы видели в главе 5, средний процент годового дохода по отношению к вложенному капиталу – так называемая норма прибыли – в сельском хозяйстве всегда была ниже, чем в промышленности. В наше время владелец промышленного предприятия получает в среднем годовой доход в 10 – 11% от стоимости этого предприятия, тогда как землевладелец – всего 7 – 8% от стоимости земли. Причины этого давно известного явления были предметом размышлений многих экономистов; в частности, Маркс посвятил этому вопросу десятки страниц в третьем томе "Капитала", несколько его не прояснив (впрочем, третий том им не был окончен). Мы попытаемся объяснить этот факт не из экономических, а из непосредственных психологических мотивов, действовавших с особой силой в феодальные времена и не утративших значения и по сей день. Заметим, что рыночное поведение людей экономисты всегда объясняли их психологией, и мы в пятой главе поступали так же. К счастью, в этом нет философской ошибки – апелляции к более высокому уровню познания – поскольку нужные нам мотивы поведения находятся эмпирически и не зависят от психологических теорий.

Пусть средняя норма прибыли в промышленности составляет в данном обществе p' %, а в сельском хозяйстве p'' %. Эмпирический факт состоит в том, что $p' > p''$, то есть $p'/p'' > 1$, или

$$\frac{p'}{p''} = 1 + \varepsilon,$$

где ε – положительное число. Мы принимаем гипотезу, что чем больше ε , тем больше индивид данного поколения заботится об интересах своих потомков. Иначе говоря, те, кто покупает землю, вместо промышленных предприятий, довольствуются меньшим годовым доходом, и мы предполагаем, что они делают это ради большей надежности земельной собственности, надеясь передать ее в том же виде своим наследникам; но тогда параметр ε характеризует их заботу о потомстве: чем больше ε , тем больше такой собственник заботится не о самом себе, а о наследниках. Напротив, чем меньше ε , тем меньше он заботится о наследниках, а при $\varepsilon = 0$, то есть при $p' = p''$, ему все равно, владеть землей или заводом, и можно предполагать, что равная норма прибыли будет получаться за счет хищнической эксплуатации земли. Впрочем, такого абсолютного эгоизма

нет даже и в наше время, поскольку, как было сказано, и в наши дни p' больше p ". Вероятно, наименьшая в истории забота о потомстве наблюдается в нынешней России: пожалуй, она уменьшилась даже по сравнению с советским периодом, когда государственная власть все же планировала кое-какие мероприятия, рассчитанные не будущее, – например, лесопосадки. Впрочем, в наших условиях, когда земля вообще не продается, а предприятия не выходят на свободный рынок, численная оценка "параметра эгоизма" затруднительна.

Поскольку собственностью, в конечном счете, распоряжаются люди, мы не будем делать различия между индивидуальным и "коллективным" собственником (таким, как компания или кооператив), тем более что мотивы всех заинтересованных индивидов в данном месте и в данное время должны быть в среднем одни и те же; поэтому мы будем говорить о "собственнике" в единственном числе. Собственник всегда субъективно оценивает качество своей собственности, и эта его оценка вовсе не обязательно совпадает с рыночной ценой этой собственности в данный момент.

Мы отдаем себе отчет в том, насколько трудна – и уязвима для критики – количественная оценка субъективных переживаний. До сих пор в этой книге мы не пытались делать такие оценки, хотя и связывали рыночное поведение с психологическими мотивами. Теперь мы, однако, предположим, что собственник приписывает своей собственности численную меру качества $Q(t)$, зависящую от времени t . Если, например, речь идет о предмете долговременного пользования, то $Q(t)$ в течение жизни индивида чаще всего убывает, так как по мере износа качество этого предмета снижается. Другая причина уменьшения $Q(t)$ может действовать даже независимо от износа, когда предмет вовсе не используется: со временем он "выходит из моды", и если такие предметы уже не принято употреблять, то эта величина может даже обратиться в нуль. С другой стороны, владелец может улучшать свою собственность, например, производить посадки леса на своем лесном участке. На рисунке 1 изображена зависимость качества объекта от времени, с точки зрения его собственника.

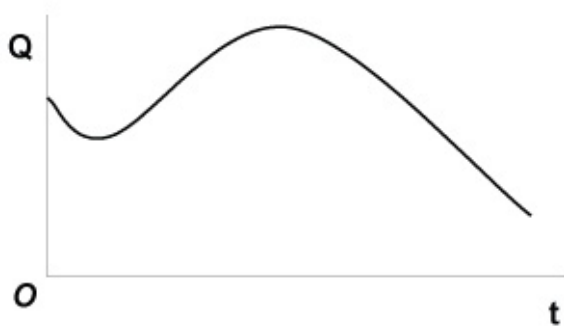


Рис.1

Нам нужны будут средние значения качества за различные промежутки времени; напомним, что означает этот термин. На рисунке 2 изображен график $Q(t)$ между некоторым начальным моментом t_n и конечным моментом t_k . Найдём площадь S , лежащую под этим графиком, ограниченную снизу осью t и по сторонам отрезками $t = t_n$ и $t = t_k$. Эта площадь равна площади некоторого прямоугольника с тем же основанием, высота которого и принимается за среднее значение Q_{cp} функции $Q(t)$ на отрезке (t_n, t_k) : на рисунке 2 этот прямоугольник ограничен сверху пунктиром. [Читатель, знакомый с элементами интегрального исчисления, легко проверит, что Q_{cp} равно пределу средних арифметических

$$\frac{1}{n} [Q(t_1) + Q(t_2) + \dots + Q(t_n)]$$

где $t_1, t_2, \dots, t_n$ – близкие последовательные моменты времени от t_n до t_k].

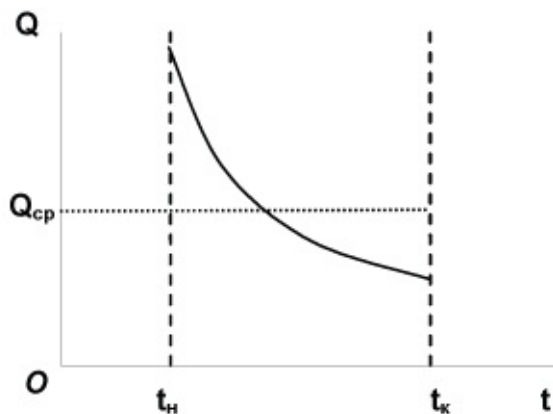


Рис.2

Нас будут теперь интересовать объекты длительного пользования, время существования которых много больше продолжительности человеческой жизни T . Таковы, например, пахотная земля и лес – важнейшие экологические объекты. При исследовании долговременных

ориентиров человеческого поведения наибольший интерес представляет лес, поскольку земля ежегодно дает урожай, зависящий от усилий земледельца, между тем как лес вызревает слишком долго, чтобы владелец мог получить доход от его эксплуатации. Сосна растет 100 – 150 лет, прежде чем можно получить от нее высококачественную древесину, так что собственник соснового леса, сажая деревья или ухаживая за ними, не может рассчитывать на личные выгоды от этого занятия: доход достанется его внукам. И все же, в Западной Европе и в Соединенных Штатах постоянно производятся лесонасаждения. По некоторым данным, возможно, слишком оптимистическим, в Соединенных Штатах растет теперь больше лесов, чем сто лет назад (конечно, главная трудность состоит в оценке старых данных), а в Западной Европе почти все леса (за исключением Карпат) выросли от искусственных посадок. Непосредственным мотивом лесопосадок является поддержание и увеличение рыночной цены леса, который всегда можно продать, выручив затраты; но при этом надо объяснить, почему удерживается рыночная цена товара, который в настоящее время не может быть использован. Объяснением этого факта мы и займемся.

Можно предполагать, что владелец имущества (для определенности мы будем говорить о лесе) приписывает ему некоторое качество в любой момент времени t , полагая, что это качество сохранится и после его смерти. Поэтому функция $Q(t)$, вообще говоря, убывающая, не обращается в нуль и по истечении времени жизни человека T (рис.1). Эта функция может даже возрастать, если владелец ухаживает за своим лесом или производит посадки.

Пусть теперь Q_0 – среднее значение качества леса за время жизни его владельца (от $t = 0$ до $t = T$); Q_1 – среднее значение качества за время жизни его сына (от $t = 0$ до $t = 2T$); Q_2 – среднее значение за время жизни его внука, и т.д., предполагая, что они по очереди унаследуют этот лес. Напомним, что значения $Q_0, Q_1, Q_2, \dots$ представляют собой оценки качества леса в будущем, производимые его нынешним владельцем, которые, конечно, субъективны. Но если окажется, что такие оценки приблизительно одинаковы у всех владельцев леса – в данное время и в данной стране – то они приобретают объективный смысл. Можно допустить, что числа $Q_0, Q_1, Q_2, \dots$ образуют убывающую последовательность, то есть что для владельца качество леса при жизни его сына менее важно, чем при его собственной жизни, при жизни внука – менее важно, чем при жизни сына, и т.д. Простейшее предположение состоит в том, что эти числа образуют

убывающую геометрическую прогрессию: Q_1 в k раз меньше Q_0 , Q_2 в k раз меньше Q_1 , и т.д., где $k > 1$.

Очевидно,

$$Q_1 = \frac{1}{k} Q_0, Q_2 = \frac{1}{k} Q_1 = \frac{1}{k^2} Q_0, \dots,$$

наконец, для любого целого положительного n

$$Q_n = \frac{1}{k^n} Q_0$$

Попробуем выразить эту зависимость не в терминах поколений, а прямо через время t . Если человеческая жизнь длится в среднем T лет, то n поколений длится nT лет. Полагая $t = nT$, имеем $n = t/T$, и значение Q через t лет – то же, что Q_n – можно обозначить через $Q(t)$. Тогда получаем

$$Q(t) = \frac{1}{k^n} Q_0 = \frac{1}{k^{\frac{t}{T}}} Q_0 = k^{-\frac{t}{T}} Q_0.$$

$Q(t)$ оказывается экспоненциальной функцией времени, с основанием k и показателем $-t/T$. До сих пор мы считали, что период времени t кратен T , то есть состоит из целого числа поколений, причем для каждого поколения бралось среднее значение качества леса за время жизни этого поколения (владельца, его сына, внука, и т.д.).

Сделаем теперь следующее обобщение. Перейдем от оценки средних значений качества леса для последовательных поколений – с точки зрения отдельного владельца – к оценке качества леса в любой момент времени t , с точки зрения среднего владельца. Предположим, что эта оценка $Q(t)$ задается той же экспоненциальной функцией, к которой мы пришли выше. Конечно, такое предположение должно быть проверено на опыте, и, в частности, надо указать способ определения числа k , что будет сделано ниже. Мы считаем, следовательно, что если в момент $t = 0$ средняя оценка качества некоторого леса владельцами лесной собственности составляет Q_0 , то средняя оценка ими того же леса в любой момент $t > 0$ составляет

$$Q(t) = Q_0 k^{-\frac{t}{T}}.$$

Переход от средних по времени к средним по коллективу, который может показаться читателю несколько произвольным, в действительности представляет собой обычную процедуру в статистической физике, где принимается так называемая "эргодическая гипотеза"; это замечание может быть опущено читателем, не знакомым с физикой, так как в нашем случае гипотеза может быть непосредственно проверена, о чем еще будет речь.

Работая с показательными функциями, предпочитают иметь дело с

фиксированным основанием степени (а не со случайным основанием k , как в предыдущей формуле). Переход к любому основанию a не составляет труда. В самом деле, чтобы было справедливо (тождественно по t) равенство

$$k^{-\frac{t}{T}} = a^{-\lambda t},$$

достаточно, чтобы были равны логарифмы обеих частей по основанию a :

$$-\frac{t}{T} \log_a k = -\lambda t,$$

(проверьте это равенство, вспомнив правила логарифмирования!). Отсюда

$$\lambda = \frac{\log_a k}{T},$$

Итак, можно записать $Q(t)$ в виде $Q_0 a^{-\lambda t}$, с любым положительным основанием a и λ , заданным последней формулой.

В естествознании пользуются обычно показательными функциями со стандартным основанием $e = 2,71828\dots$, именуемым “неперовым числом”. [Дж.Непер (J. Napier, 1550 – 1617) – изобретатель логарифмов. Для знакомых с понятием производной поясним, почему оказывается предпочтение основанию e : показательная функция с этим основанием не меняется при дифференцировании].

Мы также будем придерживаться этого обычая, чтобы наши формулы имели общепринятый вид. Положим в предыдущих выкладках $a = e$ и обозначим через (натуральный логарифм). Тогда имеем

$$Q(t) = Q_0 e^{-\lambda t},$$

где

$$\lambda = \frac{\ln k}{T}.$$

При $t = 0, T, 2T, \dots$, как читатель легко проверит, $Q(t) = Q_0, Q_1, Q_2, \dots$ (здесь надо воспользоваться тем, что $e^{\ln k} = k$). Таким образом, получаются прежние значения для качества через одно, два и более поколений. При этом отношения $Q_1/Q_0, Q_2/Q_1, \dots$ равны $1/k$. При возрастании k растет и λ , так как основание логарифмов $e > 1$ и, следовательно, $\ln$ – возрастающая функция. Таким образом, чем больше λ , тем меньше принимаются во внимание интересы потомства, а при бесконечно большом λ ($\lambda = \infty$) они

вовсе игнорируются. По этой причине можно назвать λ "параметром эгоизма".

Естественно предположить, что качество, приписываемое владельцем своему имуществу, пропорционально доходу, который он может с него получить. В самом деле, понятие "качества жизни" сводится, как принято думать, к перечню потребляемых товаров, а доход определяет набор товаров, какие можно на него купить. Мы ограничимся таким пониманием "качества" и будем считать, что качество имущества в оценке его владельца есть просто возможный для него пожизненный доход с этого имущества. С другой стороны, общественная оценка качества имущества – это максимальный доход, который можно из этого имущества извлечь. Ясно, что этот доход не может быть меньше рыночной цены имущества: иначе никто его не купит. Но он не может быть и больше рыночной цены, так как в этом случае продажа его означала бы потерю для владельца. Итак, общественная оценка качества – это рыночная цена.

Две указанные оценки качества не всегда совпадают, поскольку у владельца могут быть и другие причины ценить свое имущество – кроме возможного дохода с него. Как уже было сказано, такой причиной может быть желание передать это имущество в сохранном виде своим наследникам. Рассмотрим опять пример лесной собственности. Владелец лесного участка, приписывающий ему в течение своей жизни среднее качество Q_0 , не считает себя вправе израсходовать всю рыночную стоимость леса на себя, а выделяет долю $Q_1 + Q_2 + \dots$ своим потомкам. Качество, оставляемое "для себя", пропорционально его ежегодному доходу, то есть его ренте r ". С другой стороны, владелец завода той же рыночной стоимости $Q_0 + Q_1 + Q_2 + \dots$ может вовсе не заботиться о своем потомстве, зная, как быстро устаревает оборудование: предположим, что он будет тратить весь доход со своего завода на себя. Тогда его рента r' будет пропорциональна написанной выше сумме. Поэтому отношение рент

$$\frac{r'}{r} = 1 + \varepsilon = \frac{Q_0 + Q_1 + Q_2 + \dots}{Q_0} = 1 + \frac{Q_1}{Q_0} + \frac{Q_2}{Q_0} + \dots$$

Отсюда

$$\varepsilon = \frac{Q_1}{Q_0} + \frac{Q_2}{Q_0} + \dots$$

или, пользуясь формулой для $Q(t)$, имеем

$$\varepsilon = e^{-\lambda t} + e^{-2\lambda t} + e^{-3\lambda t} + \dots$$

В правой части стоит геометрическая прогрессия со знаменателем $e^{-\lambda t}$.

Так как $\lambda > 0$, то $e^{-\lambda t} < 1$, и сумма прогрессии находится по известной формуле:

$$\varepsilon = \frac{e^{-\lambda t}}{1 - e^{-\lambda T}}.$$

Отсюда можно выразить "параметр эгоизма" λ через ε :

$$\begin{aligned} (1 - e^{-\lambda T})\varepsilon &= e^{-\lambda T}, & \varepsilon &= e^{-\lambda T}(1 + \varepsilon), \\ e^{-\lambda T} &= \frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon}, & e^{-\lambda T} &= \frac{1 + \varepsilon}{\varepsilon}, \end{aligned}$$

следовательно,

$$\lambda = \frac{1}{T} \ln \frac{1 + \varepsilon}{\varepsilon}.$$

(не забудьте, что здесь применяется натуральный логарифм, то есть логарифм по основанию e !).

(Заметим, что мы здесь отождествили ренту от лесной собственности с рентой от земельной; при более подробном исследовании надо было бы учесть возможные различия между ними. Впрочем, предыдущие рассуждения можно повторить и для земельной собственности – может быть, с несколько иной величиной ренты).

Таким образом, "параметр эгоизма" может быть выражен через число ε , то есть через нормы прибыли в промышленности и сельском хозяйстве, существующие в данном месте в данное время. Это позволяет оценить отношение к потомству людей данной культуры на любом этапе ее существования, поскольку нормы прибыли обычно известны – либо из статистических данных, либо, для далеких времен, из исторических документов.

Крайние случаи нетрудно указать. При столкновении европейцев с людьми, живущими племенным строем, они встретились с оценками, не делающими разницы между собственностью нынешнего поколения и собственностью потомков: все достояние племени было собственностью племени в целом, а племя представлялось как единство всех поколений – прошлых и будущих. В этом случае $Q_0 = Q_1 = Q_2 = \dots$, "параметр эгоизма" λ равен нулю, и суммарное качество бесконечно. Ясно, что у такого племени нельзя купить его землю или его лес: их можно присвоить только истребив это племя! Непонимание ценностей другой культуры всегда и приводило к непостижимым – на взгляд европейцев – резким переменам в поведении

"туземцев". Лоренц напоминает, как участники первой немецкой экспедиции в Новую Гвинею, дружески принятые местным населением, для каких-то хозяйственных целей срубили большое дерево и вызвали этим взрыв враждебности "туземцев": по-видимому, ученые не придавали деревьям никакой цены, но это оказалось священным деревом племени! Так же вели себя русские, пытавшиеся навязать свои ценности афганцам.

Другую крайность представляет нынешнее "западное" общество, которое мало заботится о будущих поколениях: в таком обществе параметр λ очень велик, и Q_1 уже мало по сравнению с Q_0 , а следующие Q_n просто пренебрежимы. По-видимому, это объясняется главным образом распадом культуры, с присущим всем подобным эпохам примитивным гедонизмом, не способным уже приносить в жертву сиюминутные удовольствия. Впрочем, различие в нормах прибыли все еще сохраняется: земля, лес и другие "экологические" блага по-прежнему считаются более безопасным видом капиталовложения. Что касается России, то есть основания считать для нее параметр особенно большим – почти бесконечным. Об этом свидетельствует полная беззаботность в отношении охраны природы. Как уже было сказано, нормы прибыли у нас не поддаются оценке, поскольку в России по существу все еще нет свободного рынка. Было бы интересно исследовать, как изменялся "параметр эгоизма" в разных странах в зависимости от времени. Такое исследование составило бы серьезный вклад в историю культуры.

Экспоненциальная функция, измеряющая "убывающий интерес" индивида к его собственности, как будто противоречит начальной ситуации, из которой она выведена: ведь каждый индивид, в каждый момент своей жизни оценивает качество своей собственности по ее наличному состоянию, и лишь для своих потомков вводит (конечно, бессознательно) корректирующий множитель $e^{-\lambda t}$. Но в действительности экспоненциальная функция в некоторой степени присутствует и при жизни индивида: ведь он выше оценивает зрелый лес, существующий сейчас, чем лес, который созреет через 40 лет. Впрочем, напомним, что мы перешли при определении этой функции от средних по времени к средним по коллективу лесовладельцев. Эти средние определяют рыночную цену различных видов леса, и любой владелец сразу же обнаружит реальность параметра λ , если захочет продать свой лес. Цена неизбежно будет зависеть от возраста этого леса и от произведенных лесопосадок. Было бы интересно проследить в ценах на лес параметр λ , первоначально выведенный из норм прибыли. В следующей части этой главы мы

применим метод "параметра эгоизма" к вопросу о целесообразности лесонасаждений.

Таким образом, сделанное выше обобщение – при переходе от геометрической прогрессии $Q_0, Q_1, Q_2, \dots$ к экспоненциальной функции – оказывается плодотворным в условиях, не входивших в его исходную ситуацию (где оно было кратно продолжительности жизни T). Впрочем, таковы все "правильные" обобщения.

Аналогичный закон экспоненциального убывания часто встречается в физике, например, при описании радиоактивного распада. Если в начальный момент ($t = 0$) имеется масса радиоактивного вещества M_0 , то масса $M(t)$, остающаяся в момент t , определяется формулой $M(t) = M_0 e^{-\lambda t}$, где λ зависит от вещества. Время t_m , в течение которого распадется половина вещества, называется его периодом полураспада и вычисляется

из условия $M(t_m) = \frac{1}{2} M_0$. Аналогично, эволюция качества некоторого имущества, с точки зрения его собственника, описывается функцией $Q(t) = Q_0 e^{-\lambda t}$, и время, в течение которого это качество уменьшается вдвое,

вычисляется из условия $Q(t_m) = \frac{1}{2} Q_0$. Отсюда имеем

$$Q_0 e^{-\lambda t_m} = \frac{1}{2} Q_0, \quad e^{-\lambda t_m} = \frac{1}{2},$$

и, логарифмируя по основанию e , находим

$$\lambda t_m = \ln 2, \quad t_m = \frac{\ln 2}{\lambda}.$$

Чтобы составить представление о встречающихся на практике значениях "параметра эгоизма" λ , предположим, что t_m имеет порядок T , то есть при переходе к следующему поколению $Q(t)$ уменьшается вдвое. Тогда получаем

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda}, \quad \lambda = \frac{\ln 2}{T}.$$

Поскольку $\ln 2$ – число порядка единицы ($e = 2,71\dots$), находим, что $\lambda \approx 1/T$. Таким образом, для людей, оценивающих интересы своих детей вдвое ниже своих собственных, $\lambda \approx 0,01$. В наше время это значение кажется заниженным.

В течение года от начального момента t (время измеряется в годах) качество собственности превращается из $Q(t)$ в $Q(t + 1)$, так что снижение

этого качества оценивается коэффициентом

$$\frac{Q(t+1)}{Q(t)} = \frac{Q_0 e^{-\lambda(t+1)}}{Q_0 e^{-\lambda t}} = e^{-\lambda}.$$

Итак, равно натуральному логарифму коэффициента убывания качества за год, взятому со знаком минус.

Условия выгодности лесопосадок

Пусть τ – время естественного возобновления леса: это значит, что на месте вырубленного леса через τ лет вырастает опять зрелый лес. Для обычных пород деревьев τ имеет порядок 100 лет: сосна вызревает через 100 – 150 лет, береза и другие быстро растущие деревья – через 40 – 50 лет, а такие деревья, как дуб, вырастают в несколько столетий. Если ничего не делать на месте порубки, то вместо вырубленных сосен там сначала вырастут березы, а затем уже – через 40 – 50 лет – их начнут вытеснять сосны. Для молодых сосен березовый лес выполняет даже полезные функции, доставляя им защиту от жары и обезвоживания. Но смена лесных пород требует много времени: вместо 100 – 150 лет зрелые сосны появятся лишь через 200 – 250 лет. Ясно, что ускорение процесса возобновления леса может быть выгодно владельцу лесного участка. Как мы знаем, его оценка качества зрелого леса, который должен естественно вырасти через τ лет, составляет

$$Q(\tau) = Q_0 e^{-\lambda \tau}$$

где Q_0 – качество зрелого леса, занимающего один гектар в настоящее время. Напомним, что такие оценки качества имеют объективный смысл, так как соответствуют рыночным ценам, и будем выражать $Q(t)$ прямо в рублях.

Предположим теперь, что искусственными посадками и уходом можно сократить период созревания на лет (напомним, что читается: приращение). Тогда лес созреет через лет; добавочное преимущество состоит в том, что при искусственном разведении леса, исключая "посредников" вроде березы, получается однородная древесина высокого качества. Оценка гектара леса составит при этом

$$Q(\tau - \Delta\tau) = Q_0 e^{-\lambda(\tau - \Delta\tau)}.$$

Приращение цены леса, по сравнению с естественным ростом, равно

$$\Delta Q = Q_0 (e^{-\lambda(\tau - \Delta\tau)} - e^{-\lambda \tau}) = Q_0 e^{-\lambda \tau} (e^{\lambda \Delta\tau} - 1)$$

(где уменьшаемое больше вычитаемого – проверьте это!).

Чтобы оценить выигрыш от лесопосадки, заметим, что для ценных пород дерева τ составляет несколько сот лет, тогда как ускорение созревания, $\Delta\tau$ даже при лучших технологиях, составляет примерно 30 – 40 лет. Будем считать и фиксированными, то есть остановимся на

определенном виде деревьев и определенной технологии посадки и ухода за лесом. Тогда предыдущее выражение ΔQ становится функцией от одной переменной λ , которую мы обозначим $\eta(\lambda)$. Ясно, что $\eta(0)=0$, а при возрастающих значениях λ оба выражения $e^{-\lambda t}$ и $e^{-\lambda(\tau-\Delta\tau)}$ стремятся к нулю, так что $\eta(\infty)=0$. График функции $\eta(\lambda)$ изображен на рисунке 3.

Можно показать, что наибольшее значение η – то есть наибольшая выгода от лесопосадок – достигается при

$$\lambda = \lambda_{\max} = \frac{1}{\Delta\tau} \ln \frac{\tau}{\tau - \Delta\tau},$$

причем максимальное значение η равно

$$\eta_{\max} = \left(\frac{\Delta\tau}{\tau} \right)^{\frac{\tau}{\Delta\tau}} \left(\frac{\tau}{\Delta\tau} - 1 \right)^{\frac{\tau}{\Delta\tau} - 1}$$

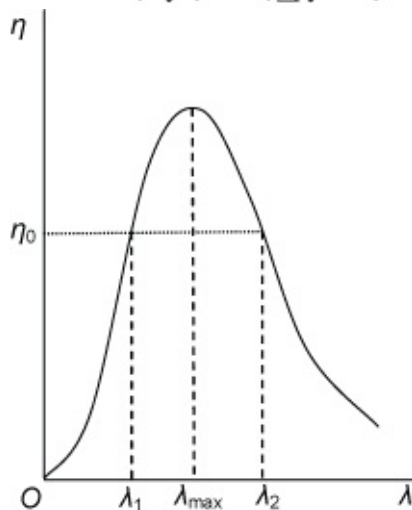


Рис.3

Последние две формулы легко получить с помощью дифференциального исчисления. Интересующая нас функция $\eta(\lambda)$ обращается в нуль при $\lambda=0$ и при $\lambda=\infty$, максимум ее достигается в точке, где $\eta'(\lambda)=0$, откуда и получается указанное выше значение $\lambda_{\max}$. Подставив его в формулу для $\eta(\lambda)$, находим выражение для $\eta_{\max}$.

Таким образом, функция $\eta(\lambda)$ возрастает от 0 до $\eta_{\max}$, а затем убывает до нуля (при λ стремящемся к бесконечности).

Вопрос о целесообразности посадок леса зависит от их цены. Если посадка леса, вместе с уходом за ним, обходится в η_0 рублей за гектар, то (см. рис.3) посадки имеют смысл лишь в том случае, когда $\eta(\lambda) > \eta_0$, то есть выигрыш в оценке леса по достижении зрелости должен превышать

расходы на посадку и уход. При этом находится область (λ_1, λ_2), в которой $\eta(\lambda) > \eta_0$ (рис.3). Только для значений λ из этой области посадки леса экономически оправданы.

При слишком малых значениях λ (меньших λ_1) лес не сажают, что согласуется с практикой племенного общества: поскольку для такого общества лес, который достанется внукам и правнукам, имеет ту же оценку, посадка ничего не прибавит к его ценности. Не сажают лес и при слишком больших λ (больших λ_2), так как при высокой мере эгоизма люди мало заботятся о том, что вырастет после их смерти. К счастью, в странах Запада лес все еще сажают, но в России – уже почти нет.

Выведенные выше формулы позволяют исследовать вопрос о лесопосадках, если известен параметр λ . Такие исследования уже начаты в Красноярске. Но следует заметить, что значение леса не исчерпывается рыночной стоимостью древесины. Лес доставляет людям кислород и воду, причем не только его владельцам, а всем людям. Эту экологическую ценность леса не может учесть предыдущая теория, так как владелец леса, по сделанному выше предположению, оценивает его лишь с точки зрения собственной выгоды. Право собственности на лес (и на другие экологические объекты!) ограничено уже тем фактом, что владелец не может присвоить себе указанные экологические блага, достоящиеся всем людям; он может, однако, срубить свой лес и уничтожить эти блага. Но если их естественным собственником надо считать все человеческое общество, то владелец не вправе лишать людей этих благ: они не должны включаться в определение этого вида собственности. В ряде стран это уже признается; особенно строгие законы на этот счет приняты в Канаде, где хозяин дома, например, не вправе срубить мешающее ему дерево на его участке, не изложив свои основания городским властям и не получив их разрешение. Если нет таких ограничений (которые в демократическом государстве подлежат, разумеется, суждению граждан в лице их представителей), то могут возникнуть катастрофические опустошения, как это произошло в бассейне Амазонки. Там растут ценные породы леса, хищнически вырубаемые иностранными и местными дельцами, при попустительстве продажных чиновников. Но амазонские леса составляют значительную часть биомассы, снабжающей нас кислородом; их уничтожение подобно удушению человечества. Ясно, что в таких случаях общество – его государственные и международные учреждения – обязаны ограничивать "частную инициативу". Бойкот амазонской древесины, устроенный экологическими организациями, вряд ли будет достаточен для

спасения амазонских лесов.

Здесь мы сталкиваемся с принципиальным вопросом о вмешательстве общества в дела отдельного человека. Люди, настаивающие, что не должно быть никакого вмешательства, не знают истории и, что еще хуже, не предвидят будущего. Когда-то самое понятие собственности подразумевало абсолютное право владельца не только "употреблять" ее, но и "злоупотреблять" ею, как это было буквально сказано в римском праве. Такое определение собственности никак не согласуется с условиями современного мира: человек, желающий построить на своей земле химический завод, тем самым часто злоупотребляет своей собственностью, отравляя окружающее население, и право на такие злоупотребления уже не признается. Местные и глобальные экологические проблемы могут быть решены только организованным обществом, то есть – в современных условиях – вмешательством государства. Накопление трудностей и возникновение новых опасностей достигли такого уровня, что от них нельзя отделаться обличениями "социализма". Те, кто считает "социализмом" любое вмешательство государственной власти, не замечают, что давно уже живут "при социализме". Попытки дихотомического решения сложных вопросов (либо да, либо нет – "разрешить вмешиваться" или "запретить вмешиваться") приводят лишь к бесплодным препирательствам. За такими общими спорами всегда стоят определенные политические интересы, не имеющие отношения к обсуждаемому вопросу. Решение конкретных вопросов каждый раз требует конкретного ответа.

Экологическим объектам во многом аналогичны произведения культуры – картины, статуи, памятники архитектуры, и т. п. Они также могут служить многим поколениям людей, и также могут иметь частных владельцев. Но вряд ли кто-нибудь всерьез полагает, что владелец имеет право делать с принадлежащими ему произведениями искусства, что ему вздумается. В 1687 году турки, владевшие в то время Грецией, устроили в здании Парфенона пороховой склад, а венецианцы, воевавшие с турками за их "право собственности", взорвали этот склад артиллерийским огнем. Ни те, ни другие не имели "права собственности" на этот храм, но и греки – его законные наследники – вряд ли тогда понимали, почему его надо беречь. По-видимому, есть объекты, которые должен охранять от варваров международный закон.

Конечно, произведения искусства издавна имели владельцев и рыночную цену. Храм невозможно украсть и спрятать, но во время второй мировой войны многие картины, украденные нацистами, уцелели благодаря их рыночной ценности. Таким образом, даже столь нелепая

процедура, как денежная оценка произведений искусства, может быть полезна для их сохранения.

Глава 11. Замкнутые экологические системы и земная биосфера

Как уже было сказано, при неизбежном дальнейшем развитии промышленной цивилизации нельзя рассчитывать на спасительные "регулирующие" силы природы, а надо разрабатывать высокотехнические системы жизнеобеспечения человека. Для этого понадобятся сложные и необычные методы расчета, которые должны быть вначале опробованы на упрощенных моделях биосферы – искусственных замкнутых экологических системах. Система жизнеобеспечения называется замкнутой, если в ней производится регенерация отходов жизнедеятельности человека, сопутствующих ему организмов, а также отходов, возникающих вследствие протекающих в системе физико-химических процессов, прежде всего технологических. Система называется строго замкнутой, или полностью замкнутой, если она работает изолированно от внешнего мира, за исключением энергообмена. Полная замкнутость систем жизнеобеспечения в настоящее время и в обозримом будущем возможна лишь при использовании живых организмов, главным образом растений.

Замкнутые, хотя еще не строго замкнутые системы жизнеобеспечения уже используются: это космические корабли. Проблемы жизнеобеспечения человека в космосе, проектирования космических кораблей и баз на других планетах воспроизводят в миниатюре проблемы перехода к устойчивому развитию в земной биосфере. Ведь и Землю можно рассматривать как космический корабль – только очень большой – и при этом проблема устойчивого развития для Земли оказывается, в некотором смысле, частным случаем общей задачи создания автономной системы жизнеобеспечения для длительных космических миссий. Конечно, это не значит, что можно будет полностью рассчитать "работу" Земли – для сложных систем это невозможно – но ведь и космический корабль с человеческим экипажем не полностью поддается расчету. Все дело в том, за какими параметрами надо следить и какие процессы можно сделать замкнутыми и рассчитать.

Если необходимость сохранения ресурсов для будущих поколений – пока лишь политический лозунг, то при создании космических систем жизнеобеспечения соответствующая задача минимизации запасов

расходуемых веществ уже практически важна, поскольку надо уменьшить крайне дорогостоящие, сложные и небезопасные поставки с Земли. Атмосфера в космических кораблях, из-за их скромных размеров, может изменять свой состав в несколько дней, тогда как в земной атмосфере такие процессы заняли бы столетия. Поэтому космические системы жизнеобеспечения и создаваемые для их испытания наземные прототипы, искусственные биосферы, в некоторой степени являются "экологическими машинами времени", позволяющими предвидеть возможное экологическое будущее Земли. Мы рассмотрим в этой главе проблемы энергоснабжения, теплообмена, дыхания и питания людей в космических системах, а затем сделаем заключения о соответствующих процессах на Земле.

Энергетика космических кораблей

В развитии глобального экологического кризиса важная роль принадлежит энергетике, поскольку тип энергетики во многом определяет структуру современного производства. Поэтому надо обсудить, каким образом сейчас решаются проблемы энергообеспечения в космосе – тем более, что технические решения в области космонавтики пользуются заслуженно высоким авторитетом и рассматриваются как передовые.

В космосе используются химическая, солнечная и ядерная энергия, каждая из которых имеет свою область применения, где она необходима или выгоднее других. С инженерной точки зрения различают "ближний космос", то есть непосредственную окрестность Земли, "средний космос" – от Меркурия до пояса астероидов, и "дальний космос" – за астероидами. Зона между Солнцем и Меркурием пока не исследуется и представляет особые трудности, из-за сильного тяготения Солнца и интенсивного облучения.

Химическая энергетика, основанная на процессах окисления, то есть на сжигании топлива, используется лишь при старте и посадке космических кораблей, когда требуется высокая "пиковая мощность" – большая выдача энергии в короткое время. До сих пор космические корабли стартовали лишь с Земли и садились на Землю, спуская на другие небесные тела небольшие "модули", тоже на химическом топливе, так что химическая энергия применялась главным образом в ближнем космосе; но при посадке кораблей на Луну и планеты также возникнет проблема пиковой мощности, которую мы пока умеем решать лишь с помощью химической энергии. Соответствующие ей системы, содержащие вредные вещества, выносятся за оболочку систем жизнеобеспечения человека. Все же известен случай с американскими космонавтами, когда из-за разгерметизации кабины произошло отравление экипажа продуктами сгорания топлива, к счастью, без летального исхода; после этого были приняты дальнейшие меры для разнесения зоны обитания экипажа и систем топливной энергетики.

В условиях космоса топливная энергетика не может конкурировать с солнечной – в среднем космосе, где солнечное излучение достаточно сильно. В самом деле, солнечная батарея площадью около квадратного метра и весом в десять килограммов способна десятки лет давать электроэнергию мощностью в сто ватт. Если же взять с собой, например,

четыре килограмма керосина, требующих для своего окисления шесть килограммов кислорода (который на Земле берется из атмосферы, а в космос его надо везти вместе с керосином), то эти десять килограммов химических веществ способны дать около восьми тысяч килокалорий тепловой энергии, из которой можно получить в лучшем случае примерно двенадцать тысяч килоджоулей электроэнергии – столько же, сколько дает описанная выше стоваттная солнечная батарея за восемь суток. Самые лучшие топлива, такие, как водород, при том же общем весе вместе с кислородом в десять килограммов, дали бы столько же энергии, сколько стоваттная солнечная батарея за полмесяца. Из приведенных оценок понятно, насколько топливная энергетика неконкурентоспособна в условиях космоса. В действительности для открытого космоса, где можно избежать "пиковых" нагрузок, химическая энергетика (за исключением электрических аккумуляторов и батарей) даже не планируется. Преимущества солнечной энергии перед химической, столь очевидно демонстрируемые в космосе, могут послужить хорошим уроком и для Земли.

Солнечная энергия не только может обеспечить все жизненные потребности экипажа: есть реалистические проекты ее применения для движения межпланетных кораблей в открытом космосе, с помощью ионных двигателей. В таких двигателях электрическая энергия используется для разгона тяжелых частиц (ионов), например, ионов цезия или ртуты, выбрасываемых с большой скоростью в направлении, противоположном требуемому курсу ракеты, наподобие струи газов химического реактивного двигателя. Приращение энергии ракеты пропорционально квадрату скорости ионной струи (вспомните формулу для кинетической энергии $E=mv^2/2$), но, поскольку запас ионного топлива ограничен, выбирается оптимальная скорость выбрасывания частиц; например, для полета к Марсу, продолжительность которого составит около шести месяцев, эта скорость должна быть равна 40 км/сек. Для получения такой энергии понадобятся солнечные батареи большой площади, напоминающие паруса, которые будут распускаться в космосе, так что космический корабль с ионным двигателем будет странным образом похож на парусные корабли – причем его паруса не будут испытывать сопротивления воздуха! Вес батарей, со всеми устройствами, составил бы сейчас около 120 кг на 1 кВт мощности, но может быть во много раз уменьшен.

До сих пор солнечные батареи применяются лишь для снабжения энергией экипажа и приборов. К сожалению, интенсивность солнечного

излучения резко убывает при удалении от Солнца – обратно пропорционально квадрату расстояния. При приближении к Солнцу она столь же быстро возрастает. На орбите Венеры солнечные батареи вдвое более эффективны, чем на Земле; на орбите Марса их эффективность, напротив, падает более чем вдвое, а на орбите Юпитера более чем в двадцать раз. Поэтому солнечная энергия применима только в среднем космосе. Ядерная энергия дает б`ольшую мощность на единицу веса двигателя, но при значительном усложнении охлаждения. Она выгодна лишь в дальнем космосе, где солнечной энергии не хватает. Например, в полете "Вояджера" для далеких расстояний использовался радиоактивный источник. Ядерную энергию пытались применить также на околоземных спутниках, но сейчас это считается крайне нежелательным. В самом деле, пока корабль остается в космосе, его ядерный двигатель никому не угрожает; но низколетающие орбитальные спутники, если их не снять с орбиты, в конце концов падают на Землю – даже при попытке мягкой посадки возможны аварии – и в таких случаях радиоактивное топливо рассеивается в атмосфере. Были три аварии с американскими ядерными источниками (наиболее известен случай с "Аполлоном-13"), при которых загрязнений окружающей среды не произошло. Из советских аварий с ядерными источниками наиболее известен случай со спутником "Космос-1402", когда при входе спутника в атмосферу ядерное топливо рассеялось по поверхности Земли. Впрочем, следует иметь в виду, что равномерное распыление нескольких килограммов радиоактивных веществ по поверхности всей планеты не может сколько-нибудь заметно повысить ее естественный радиоактивный фон, который отнюдь не исчезающе низок.

С энергообеспечением космических кораблей тесно связана проблема перегрева их атмосферы. Системы жизнеобеспечения крайне нежелательно насыщать энергией сверх необходимого уровня, поскольку вся поступающая энергия в конечном счете переходит в тепло, которое нужно выводить из системы. Все космические корабли, независимо от их размеров и конструкции (а значит и Земля – гигантский космический корабль!) имеют только одну возможность освободиться от избыточного тепла – излучить его в космос; это называется радиационным отводом тепла. По закону Стефана – Больцмана, интенсивность излучения любого "абсолютно черного" тела пропорциональна четвертой степени его температуры; напомним, что тело называется "абсолютно черным", если оно поглощает все падающее на него излучение (что можно считать приближенно справедливым для интересующих нас космических объектов), а температура отсчитывается по шкале Кельвина, от 273°С ниже нуля.

Поскольку обычная температура, при которой мы живем на поверхности Земли, поддерживается также в жилых помещениях космических ракет и примерно равна 3000 Кельвина, тот же расчет, что и в главе 4, показывает, что при увеличении тепловой энергии ракеты на 1% ее температура повышается на $0,75^{\circ}$.

Чтобы тепловая энергия могла быть излучена в космос, ее надо доставить к стенкам корабля. Для этого в космических кораблях имеется система охлаждения, составляющая значительную часть систем корабля (100 – 200 кг на киловатт отводимого тепла, что превосходит вес солнечных батарей). В принципе можно концентрировать избыточное тепло (на что надо затрачивать дополнительную энергию) и подавать его на специальные излучатели с искусственно поднятой температурой, где охлаждение идет намного эффективнее: в самом деле, при более высокой температуре, по закону Стефана – Больцмана, излучение энергии возрастает. Для Земли это, конечно, нереально. Но для космических кораблей эта задача в последнее время успешно решается – и у нас, и за границей. Японцы сообщают, что они снизили вес охлаждающих устройств до 2 кг на 1 киловатт отводимого тепла.

Система охлаждения не всегда может поддерживать оптимальную температуру атмосферы корабля, поскольку устанавливающаяся температура сильно зависит от энергообеспечения корабля и других факторов. Например, при аварии "Аполлона-13" снизилось энергообеспечение корабля, и вследствие этого температура упала до трех градусов выше нуля, так что экипаж, не имевший с собой зимней одежды, собрался в относительно теплом лунном модуле, где было одиннадцать градусов выше нуля, но и там люди не могли уснуть. При неполадках на станции "Скайлэб" плохо работал противосолнечный экран, и температура достигала около шестидесяти градусов выше нуля, пока не был установлен дополнительный противосолнечный зонт.

Жизнеобеспечение экипажа космических кораблей

Человек дышит кислородом и не нуждается в других газах земной атмосферы, хотя и вдыхает их вместе с кислородом, так что его легкие наилучшим образом приспособлены к естественной смеси газов, из которой они извлекают кислород. Состав атмосферы Земли (по объему) в настоящее время таков: 78% азота, 21% кислорода, несколько меньше 1% аргона, 0,036% углекислого газа; при этом не учитывается небольшое количество водяного пара, так что здесь (и дальше) имеется в виду сухой воздух. До промышленной революции было 0,02% углекислого газа. Существование человека зависит от кислородного дыхания, и весь служащий для дыхания кислород производят растения. Без него на Земле вообще не было бы свободного кислорода, как нет его в атмосфере других планет: кислород, с его высокой химической активностью, быстро вступает в реакции с различными веществами. Смесь газов, которой человек может дышать, должна содержать не менее 10% кислорода; тренированные люди, например, горцы, могут долго жить и при несколько меньших концентрациях, а недолго – даже при значительно меньших; нетренированные люди плохо чувствуют себя и при не столь сильном снижении концентрации. В течение короткого времени человек может дышать и одним кислородом, но для нормального дыхания лучше, чтобы его парциальное давление было около 21%.

Углекислый газ нужен человеку в очень небольшом количестве, для регуляции дыхания. Поскольку этот газ выделяется легкими человека, то, как предполагают, о его минимальном содержании во вдыхаемом воздухе можно не заботиться. Напротив, его максимальное содержание весьма важно: 5% CO_2 уже смертельны! При 0,3% уже замечаются изменения в организме человека, и хотя в замкнутой системе "Биос-3" (о которой рассказывается дальше) люди жили без вредных последствий в течение шести месяцев при 0,8 – 1% CO_2 , можно принять 0,3% за максимально допустимый уровень.

Растения, напротив, нуждаются в углекислом газе для питания и могут жить, когда его содержание в смеси газов не меньше некоторого небольшого количества, меньшего 0,01%, и не больше 5%. На рисунке 1 изображены области существования человека и растений. Их пересечение

соответствует условиям естественной жизни человека.

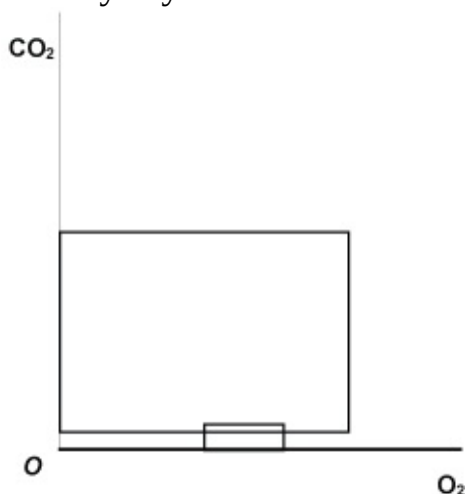
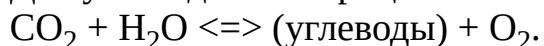


Рис.1

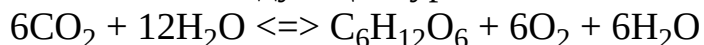
Хотя этот рисунок носит качественный характер, гораздо большие размеры зоны существования растений свидетельствуют о вполне реальном факте: растения хорошо переносят значительные изменения состава атмосферы, смертельные для нас. Но мы должны думать о таком составе атмосферы, чтобы выжили и мы, и растения, без которых мы не можем жить. Ведь растения не только дают нам кислород, но и доставляют нам продукты питания.

Существование биосферы Земли зависит от двух главных процессов – это процесс фотосинтеза, в результате которого растения синтезируют за счет солнечной энергии необходимые для жизни вещества – главным образом углеводы, жиры и белки –, и обратный процесс деструкции (разложения) этих веществ, осуществляемый животными, грибами и разнообразными микроорганизмами.

Для углеводов эти процессы можно представить схемой:



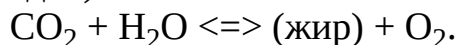
Например, фруктоза – первичный продукт фотосинтеза – образуется в соответствии со следующим уравнением:



(здесь молекулы воды не сокращены, чтобы подчеркнуть, что кислород образуется из воды, а не из углекислого газа). Примеры углеводов: целлюлоза, в огромном количестве синтезируемая в биосфере и используемая практически только грибами; крахмал; гликоген; всем известный мед, состоящий из смеси углеводов; сахароза (обычный сахар), и т.д.

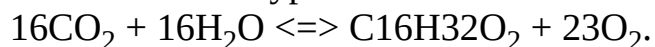
В меньшей мере процессы обмена веществ связаны с циклом жиров

(липидов):

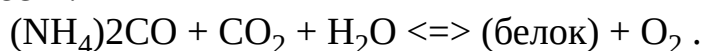


Жиры имеют весьма разнообразную химическую структуру. Наиболее известны жиры, построенные на основе глицерина и жирных кислот, но для функционирования организмов важнее всего липиды, входящие в состав клеточных мембран.

Если взять за эталонный жир соединение $\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$, то химический баланс описывается уравнением:

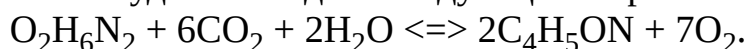


Обмен белков требует участия дополнительных азотосодержащих веществ:



Больше всего белков содержат быстрорастущие организмы (некоторые бактерии – до 70%). Главная роль белков – катализ, то есть ускорение химических реакций в организме, без чего жизнь не могла бы существовать. Специфика организма и его отдельной клетки полностью определяются набором содержащихся в них белков.

Если за эталонный белок взять белок состава $\text{C}_4\text{H}_5\text{ON}$, а за соединение, содержащее азот, $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2\text{N}_2$, то соответствующее химическое уравнение будет выглядеть следующим образом:



Конечно, метаболизм (обмен веществ) организмов связан не только с углеводами, жирами и белками, но и с другими, самыми разнообразными веществами. При этом в циклический обмен наряду с углеродом, кислородом, водородом и азотом, играющими главную роль, вовлекаются почти все элементы таблицы Менделеева. Но их участие в обмене составляет лишь небольшую долю, которую в первом приближении – например, при расчете искусственных биосфер – можно не учитывать.

Из предыдущего, по необходимости очень беглого знакомства с элементами биохимии мы хотели бы сделать один вывод, важный для дальнейшего изложения. Как видно из типичного уравнения образования углевода, из шести молекул углекислого газа, потребляемого растением, получается столько же молекул кислорода, то есть в этом процессе число выделяемых молекул кислорода равно числу потребленных молекул углекислого газа. Примерно так же обстоит дело для всех других процессов синтеза углеводов растениями. Для построения жиров дело обстоит иначе. Из типичного уравнения, приведенного выше, видно, что в этом случае число молекул кислорода, выделяемых при синтезе жира, на одну молекулу

углекислого газа приходится примерно полторы молекулы кислорода (из 16 молекул CO_2 получается 23 молекулы O_2). Приблизительно то же соотношение соблюдается в других процессах образования жиров. Таким образом, *при образовании жиров на заданное количество молекул углекислого газа выделяется в полтора раза больше молекул кислорода, чем при образовании углеводов*. Конечно, все растения вырабатывают и углеводы, и жиры, но в разных отношениях. Как мы увидим, этот факт имеет важное значение для замкнутых систем жизнеобеспечения человека.

Если фотосинтетические процессы в растениях (начиная с низших микроводорослей и кончая высшими сельскохозяйственными растениями) осуществляются, с биохимической точки зрения, почти одинаково, то процессы деструкции (разложения) связаны с жизнедеятельностью самых разнообразных организмов и осуществляются многими способами. Например, кенгуровая крыса, живущая в пустыне и питающаяся сухими зернами, никогда не пьет, а использует метаболическую воду, образующуюся в организме при разложении пищи. Не все продукты фотосинтеза усваиваются животными. Биомассу деревьев, содержащую главным образом целлюлозу, используют для питания практически только грибы. Рационы разных народов сильно различаются. Например, жители тихоокеанских островов употребляют в пищу главным образом фрукты и орехи, дополняя их небольшим количеством рыбы и другой животной пищи, так что их рацион беден животными, и даже растительными белками и состоит в основном из углеводов. Напротив, северные народы до недавнего времени употребляли в основном жиры и белки – продукты охоты и морского промысла.

Европейский рацион питания, используемый в настоящее время в космосе, на 60 – 65% состоит из углеводов, на 20 – 25% из белков и на 10 – 20% из жиров.

В биосфере все, что производит какой-либо организм – а в конечном счете и он сам – потребляются некоторыми другими организмами. В результате, за счет солнечной энергии в биосфере происходит циклическое превращение веществ: с точки зрения биохимии, этот метаболический вихрь и есть жизнь. При этом атомы элементов используются многократно, периодически входя в состав самых разнообразных веществ всевозможных живых организмов. Если бы этот химический цикл живой природы был перерезан, то, по-видимому, жизнь в биосфере прекратилась бы в исторически очень короткое время – от нескольких десятков лет до, самое большее, 1,5 – 2 тысяч лет, в зависимости от места разреза. Таким образом,

жизнь на Земле существует лишь благодаря замкнутости химического круговорота. Нынешний глобальный экологический кризис связан как раз с нарушением замкнутости биосферы вследствие технической деятельности человека.

Кроме химических превращений, функционирование организмов связано с загрязнением и очисткой водных и газовых сред. Очистка, конечно, осуществляется за счет энергии, поступающей в организм извне. Например, человек, чтобы извлечь для своего организма 0,6 кг кислорода, пропускает за сутки через свои легкие почти 30 кг воздуха, содержащие более 6 кг кислорода. Выдыхаемый воздух уже непригоден для дыхания без очистки. Кроме того, за сутки человек пропускает через свой организм 4 – 5 кг чистой воды и является потребителем воды, хотя в биохимическом смысле он воду производит: вода, прошедшая через организм, загрязняется и также не может быть использована без очистки. С другой стороны, растения с биохимической точки зрения являются потребителями воды, но для их жизнедеятельности требуется испарение огромного количества воды – причем большая часть солнечной энергии используется ими не для химического синтеза, а для очистки воды. Вообще, жизнь на суше существенно связана с испарением воды из океанов – то есть с очисткой воды и переносом ее на сушу.

Таким образом, процессы массообмена в биосфере связаны не только с живыми организмами, но и с физическими процессами, главными из которых являются испарение и конденсация воды.

Все эти процессы необходимо воспроизвести и в космическом корабле, чтобы обеспечить потребности человека, особенно вдалеке от Земли. Это можно сделать с помощью самых разнообразных растений, животных и микроорганизмов; можно также использовать самые разные физико-химические технологии. Некоторые из вариантов такого обеспечения человеческих потребностей уже испытаны в специальных установках на Земле.

Полная замкнутость в таких установках – и тем более на космических кораблях – еще не достигнута. Впрочем, системы жизнеобеспечения космических кораблей становятся все более автономными: если при первых полетах в космос взятые с собой вода и кислород использовались однократно и независимо друг от друга, то теперь на орбитальной станции "Мир" используется циркуляция этих веществ, позволяющая экономить доставляемую на орбиту массу. Грузовые корабли доставляют на станцию питьевую воду, а кислород не возят: он производится из воды с помощью электролиза. После использования этой воды для питья и питания жидкие

отходы жизнедеятельности человека собираются, а содержащийся в выдыхаемом воздухе водяной пар конденсируется в системе охлаждения корабля. В итоге удастся собрать для вторичного использования довольно много воды – даже больше, чем было выпито, потому что вода образуется также из пищи, даже сухой пищи. Например, углеводы, как это отражено и в их названии, образуются из углекислого газа и воды, а в организме человека происходит обратный процесс, при котором, как мы видели, производится углекислый газ и так называемая метаболическая вода. В принципе, при совершенствовании технологии очистки воды доставка воды на орбиту может стать вообще ненужной.

Таким образом, каждый атом кислорода, содержащийся в привозимой с Земли воде, используется многократно: например, сначала человек может выпить воду, в состав которой входит этот атом кислорода, а через некоторое время встретиться с тем же атомом, вдохнув его из атмосферы корабля; в человеческом организме он снова перейдет в воду. Пожалуй, можно сказать, что космонавты на станции "Мир" расходуют вещество даже более экономно, чем упомянутая кенгуровая крыса, – ведь этот зверек берет кислород просто из воздуха, а космонавты изготавливают его сами. Это и понятно – ведь условия космоса гораздо суровее любой пустыни. Лишь часть атомов кислорода покидает станцию в составе молекул не используемого углекислого газа, выдыхаемого человеком и выводимого наружу.

Качество атмосферы космических аппаратов является предметом особой заботы, но пока остается не очень высоким. Оно зависит от любых летучих веществ, выделяемых человеком и оборудованием станции, а также используемыми человеком вещами и доставляемым грузом. По-видимому, лучшим способом поддержания качества атмосферы является биологический – никакие устройства не могут заменить в этом растения; мы еще встретимся с этим вопросом. Но, конечно, более высокие требования к качеству потребляемого человеком воздуха приводит к возрастанию размеров и веса систем регенерации, в том числе и биологических.

Оптимальная стратегия космического полета и оптимальная конфигурация системы жизнеобеспечения экипажа зависят, прежде всего, от длительности миссии. При небольшом сроке выгодно брать как можно более легкую систему жизнеобеспечения, даже если придется увеличить запасы: ведь в этом случае запасы все равно будут невелики. При длительных миссиях, где на первый план выступает масса запасов, следует использовать системы жизнеобеспечения, позволяющие уменьшить расход

запасов, – даже с большой стартовой массой оборудования. Минимизация массы представляет для космических миссий не только техническую цель: лишний вес повышает нагрузку на двигатели и, тем самым, вероятность катастрофы. При большой длительности оптимальны системы жизнеобеспечения с малой массой запасов – высокозамкнутые системы. Если бы конфигурация системы жизнеобеспечения не менялась с ростом длительности миссии, то масса системы росла бы с увеличением срока линейно – пропорционально росту запасов. Но в действительности при увеличении срока миссии оптимальная конфигурация несколько раз меняется – пока, наконец, оптимальным не становится вариант, наиболее замкнутый по обмену масс.

Разумеется, полностью замкнутая система жизнеобеспечения может применяться и при коротких сроках, но в таких случаях она не оптимальна и проигрывает замкнутым системам по массе, а значит и по надежности. Корабль Гагарина незачем было снабжать высокозамкнутой системой жизнеобеспечения, потому что системы этого корабля были предназначены для полета в несколько дней. Но при попытке использовать такую систему в полете к Марсу пришлось бы брать огромные запасы; к тому же, через некоторое время эта система вообще перестала бы работать от недостатка сменных деталей. В таком случае гораздо лучшей оказалась бы система с более высокой замкнутостью. Исследования этого вопроса кратко резюмируются рисунком 2, где показана зависимость стартовой массы M (то есть массы систем переработки и обслуживания вместе с запасами) от срока миссии t для трех вариантов системы жизнеобеспечения.

Рис.2

В варианте а масса оборудования M наименьшая, но в этом варианте система не замкнута, а потому необходимые запасы больше, чем в варианте б. В варианте б стартовая масса больше, но это оборудование позволяет повысить замкнутость и уменьшить необходимые запасы продуктов. Наконец, в варианте с имеется дополнительное оборудование, достаточное для достижения полной замкнутости: в этом варианте вообще не требуется запасов продуктов; кроме того, предполагается, что вместо использования запасных частей производится ремонт, так что стартовая масса вообще не зависит от дальности полета. На рисунке 2 показан случай, когда при малых сроках полета, до точки пересечения 1 графиков а и б, вариант а (с меньшей замкнутостью) имеет меньшую массу и в этом смысле лучше. Между точками 1 и 2 наилучшим оказывается вариант б (со средней замкнутостью). Наконец, при больших сроках, после точки 2, предпочтителен вариант с (с полной замкнутостью).

Искусственные замкнутые биосферы

Как уже было сказано, до сих пор космические корабли и станции не были замкнутыми, и даже оставались довольно далекими от замкнутости. Естественно, возникла идея провести на поверхности Земли эксперименты с возможно более автономными системами жизнеобеспечения. Такие системы были названы "искусственными биосферами". Простейшие из них, биосферы без человека, не содержали никакой аппаратуры: это были просто биоценозы в запаянных сосудах, куда помещались водоросли и бактерии, или водоросли и рыбы. В некоторых сосудах жизнь погибала, но в других устанавливались жизнеспособные биоценозы, которые можно было изучать. Разумеется, в таких случаях нельзя было заранее предвидеть, выживет сообщество или нет, и какую форму оно примет.

Искусственные биосферы, приближающиеся к полной замкнутости и пригодные для жизни человека, были впервые созданы красноярскими биофизиками. Наиболее известна система "Биос-3", где в начале и середине семидесятых годов проводились многомесячные успешные испытания с людьми в условиях высокой автономности. Три человека жили в этой системе до шести месяцев, хорошо себя чувствовали, и здоровье их тщательно контролировалось, в том числе их собственными измерениями. Эта система имеет сходство с земной биосферой, поскольку кислород, вода и пища восстанавливаются в ней с помощью растений. Возможность достаточно точно рассчитывать такие системы не представлялась заранее очевидной и была проверена в ряде экспериментов, что может оказаться существенным шагом в понимании глобальной экологии Земли. Результаты системы "Биос-3" и в других отношениях представляют общий биологический интерес, выходящий за пределы первоначальных задач космонавтики. По своей конфигурации "Биос-3" является прототипом варианта жизнеобеспечения лунной базы, представляющегося перспективным в настоящее время. Система была изолирована от внешней среды (хотя и были небольшие утечки); в ней имитировались обычные в космосе функции – снабжение извне энергией (электрическим током), охлаждение (водопроводной водой) и связь (телефонная вместо радиосвязи). Экипаж, как уже сказано, состоял из трех человек. Кроме экипажа, в системе находились растения, снабжавшие людей кислородом и растительной пищей, и микроорганизмы, входящие в обычную микрофлору человека, а также в микрофлору растений. Циркуляция кислорода

полностью выполнялась растениями, причем качество атмосферы в течение всего эксперимента оставалось хорошим.

Идеальным уровнем химического замыкания было бы использование дополнительного человеку растения-регенератора, снабжающего человека всей необходимой ему пищей и кислородом и потребляющего все его отходы, как это изображено на рисунке 3.



Рис.3

Но, к сожалению, таких дополнительных человеку растений не существует. Приближение к полному замыканию можно обеспечить только с одновременным использованием ряда растений. До сих пор исследовались – теоретически и экспериментально – только системы жизнеобеспечения из небольшого числа организмов-регенераторов – микроводорослей, водородных бактерий и высших растений. Приемлемая схема жизнеобеспечения человека в замкнутой системе может выглядеть следующим образом:

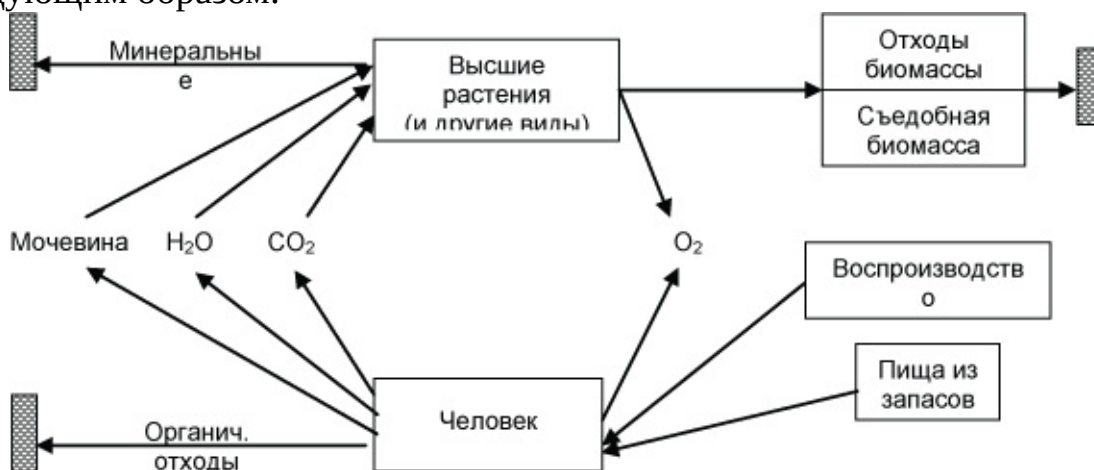


Рис.4

В системе "Биос-3" регенерация осуществлялась высшими растениями. В принципе можно было бы держать в биосфере и животных,

но эта проблема пока не решена. Пытались, например, приспособить к замкнутой системе козу, но она чувствовала себя плохо: скорее всего ей не хватало движения. Делали также опыты с моллюсками и рыбой. Содержание животных требует раз в десять больше энергии, чем выращивание растений: животные питаются растительной пищей, и получение пищи с помощью таких "посредников" дорого стоит. В природе это возможно благодаря даровой солнечной энергии, а в космосе получение энергии ограничено имеющейся техникой.

Чисто растительное питание в течение длительного времени невозможно, так как соотношение аминокислот в растениях не совпадает с их соотношением, необходимым для питания человека. У всех народов, даже питающихся преимущественно углеводами, имеются добавки мясной или молочной пищи. В системе "Биос-3" использовались запасы сушеного мяса и других животных продуктов, естественно, нарушающие замкнутость биосферы. При этом состав питания экипажа оказывается примерно таким же, как в повседневной жизни. Были предложения заменить мясо набором аминокислот, компенсирующим упомянутую разницу. Вес их составит около 30 – 50 грамм в сутки, что вполне подходит и в условиях космических рейсов. Эти предложения, впрочем, сомнительны с физиологической точки зрения.

При расчете питания людей принимались во внимание четыре основных элемента: углерод С, кислород О, водород Н и азот N, составляющие вместе 98% оборота элементов. При этом 75% приходится на три вещества – О, CO_2 и H_2O . Производительность растений по питанию рассчитывалась таким образом, чтобы удовлетворить потребности людей, при выбранном нормальном рационе. Вещества, выделяемые людьми, почти полностью возвращались растениям. Трудность представляли не употребляемые в пищу остатки растений (солома). В "Биос-3" солому сушили и откладывали. Ставились опыты сжигания соломы, чтобы получать углекислый газ для питания растений, но эти попытки не дали удовлетворительных результатов. Можно было бы окислять солому под давлением, получая из нее вещества, усваиваемые растениями. Если пренебречь небольшими не идущими в оборот остатками, то растения получали от людей те же вещества и в том же количестве, как доставляли их людям: это следует из закона сохранения вещества.

Система была незамкнутой по питанию в двух отношениях. Во-первых, часть биомассы растений (и небольшое количество сухих отходов

человека) в конечном счете не использовались и откладывались; во-вторых, часть пищи бралась не от растений, а из запасов. Поскольку (как мы увидим) *по дыханию* была достигнута полная замкнутость, из закона сохранения вещества следует, что неиспользуемые отходы и используемые запасы пищи должны содержать в точности одно и то же количество всех отдельных элементов: в самом деле, добавляемая масса элементов должна быть равна выводимой из системы. Поэтому переход к полной замкнутости требует полного использования всех отходов растений. На станции "Биос-3" эта задача не была удовлетворительно решена. Лишь в последнее время были предложены более удачные способы обработки растительных отходов, позволяющие использовать их для питания растений.

С другой стороны, медики настаивали на сохранении в рационе экипажа принятого по медицинским нормам количества животной пищи. Вследствие этого, около 50 – 60% пищи бралось из запасов, и лишь 40 – 50% получалось от растений. Если удастся преодолеть трудности с остатками биомассы, то можно будет поставить эксперименты с вегетарианским питанием, дополненным, как уже было сказано, добавками аминокислот. Таким образом можно будет достигнуть замкнутости *по питанию*.

Но замкнутость по питанию не обеспечивает замкнутости по дыханию! Расчет дыхания производился по двум газам – CO_2 и O_2 (молекула кислорода состоит из двух атомов и записывается в виде O_2). Если даже люди и растения обмениваются элементами, поочередно возвращая их друг другу, как это следует из предыдущих условий, то они передают друг другу одно и то же число атомов, но не обязательно одно и то же число молекул, построенных из этих атомов. Для растений отношение числа потребляемых молекул CO_2 к числу выделяемых молекул O_2 называется ассимиляционным коэффициентом; для человека отношение числа выделяемых молекул CO_2 к числу потребляемых молекул O_2 называется дыхательным коэффициентом. Дыхательный коэффициент человека составляет, в зависимости от питания, 0,83 – 0,86; у растений же ассимиляционный коэффициент может быть различным: например, у пшеницы он составляет 0,92 – 0,94. Ясно, что пшеница и человек не могут находиться в равновесном газообмене. Но у масличных культур ассимиляционный коэффициент ниже, чем у пшеницы, поскольку, как мы видели, при синтезе жиров на молекулу CO_2 выделяется в полтора раза больше молекул кислорода, чем при синтезе углеводов, главным образом производимом пшеницей. Оказывается, существуют масличные культуры с

коэффициентом ассимиляции меньше дыхательного коэффициента человека. Поэтому можно, присоединив к пшенице и овощам в надлежащих пропорциях масличную культуру, сделать ассимиляционный коэффициент такой комбинации растений равным дыхательному коэффициенту человека! Это важное условие позволяет человеку жить в замкнутой по дыханию системе с подобранными описанным образом растениями. Насколько нам известно, эта идея была применена только в Красноярске, где использовалось среднеазиатское масличное растение чужба. При этом получались также незаменимые для питания человека растительные жиры.

Особую проблему представляли микроорганизмы. Конечно, были приняты меры по устранению болезнетворных микробов, но трудность представляла сложная и плохо изученная микрофлора почвы, в естественных условиях выполняющая функцию разложения органических остатков. Поскольку эта микрофлора не поддавалась расчету, решено было вовсе устранить почву, выращивая растения гидропонным способом (в воде). Предполагалось, что в системе останутся лишь "постоянные спутники человека" – микроорганизмы, обычно живущие в его организме и выполняющие некоторые важные функции; их распространение вне организма не считалось опасным, и, как обнаружилось, при расчетах ими можно было пренебречь. Оставалась также микрофлора растений, которой также пренебрегали при расчетах. Таким образом, расчет газового обмена можно было проводить с небольшим числом хорошо изученных видов. Заметим еще, что в космических условиях важна экономия массы, также достигаемая отказом от почвы.

Для упрощения системы было выбрано всего несколько видов: пшеница, масличная культура чужба (необходимость в жирах была уже объяснена выше!) и овощи. Все использованные растения были специально выведены "для космоса". Важно было, что они не нуждались в "ночном отдыхе"; например, при круглосуточном освещении пшеница давала урожай очень быстро, через два месяца после посева. Разумеется, применялись сильные лампы, поскольку не ставилась задача экономить энергию. Для питания растений применялась "гидроаэропоника", при которой корни растений периодически заливались питательной жидкостью. На одного человека в системе приходилось 14 кв.м. площади растений, что иллюстрирует возможности "компактизации" сельского хозяйства при использовании современных технологий. На все работы по жизнеобеспечению члены экипажа тратили в среднем два часа в сутки, так что у них оставалось достаточно времени для исследовательской работы.

В одном из проектов лунной базы с системой жизнеобеспечения, аналогичной системе "Биос-3", экипаж из двадцати человек обеспечивается компактным растительным звеном в форме цилиндра высотой 2м и диаметром 8м, довольно плотно заполненного растениями; этого будет достаточно для снабжения людей кислородом, растительной пищей и очищенной водой. В системе "Биос-3" не было необходимости детально следить за составом атмосферы, так как система была замкнута по дыханию. Если бы экипаж базы был ориентирован на "вегетарианский" рацион с коррекцией небольшими добавками животных аминокислот, что реально в космических условиях, то баланс питания также соблюдался бы автоматически и не требовал бы расчета, причем на человека понадобилось бы 25 кв.м площади растений (При этом не употребляемые в пищу остатки сжигались бы, или перерабатывались бы, как указано выше).

Для фотосинтеза растений требуется освещение; для полного жизнеобеспечения одного человека нужно около трех киловатт круглосуточной освещенности в соответствующем надобностям растений диапазоне. В среднем космосе такое количество света можно собрать с поверхности около 40 кв.м, а на Земле, где условия освещенности зависят от широты, можно указать ориентировочную величину в 200 кв.м. Для теплоотвода в системе "Биос-3" использовалась холодная речная вода, охлаждавшая снаружи элементы конструкции системы, на внутренней стороне которых конденсировалась вода из атмосферы системы. Как уже говорилось, в космосе проблема теплоотвода была бы сложнее.

Среди многих событий, случившихся в ходе экспериментов, упомянем небольшую "экологическую катастрофу". Сейчас экологи часто обсуждают проблему "озонных дыр": в тонком слое озона, расположенном в верхних слоях атмосферы и охраняющем поверхность Земли от вредного для жизни ультрафиолетового излучения, время от времени возникают прорывы – связанные с образованием вихрей в стратосфере и, возможно, также с техническим загрязнением воздуха. Лампы, использовавшиеся в "Биосе-3", так же как и Солнце, излучали не только видимый свет, но и ультрафиолетовый; вместо озонного слоя этот ультрафиолет экранировался специальными стеклянными оболочками на лампах. Однажды в оболочке одной из ламп возникла трещина (аналог озонной дыры!). В несколько часов ультрафиолет убил часть растений, и в системе начался рост углекислого газа. Испытатели сменили оболочку (закрыли "озонную дыру"), посадили новые растения и стали ждать, что произойдет дальше: выйдут ли растения в фазу активного фотосинтеза, или концентрация углекислого газа поднимется выше допустимой. В конце концов все

обошлось: растения успели спасти положение, и через десять дней концентрация углекислого газа стала падать.

Система "Биос-3" была создана в Красноярске в конце шестидесятых годов и в начале семидесятых годов, в рамках советских космических программ; аналогичные установки затем испытывались в Москве, где баланса по атмосфере достичь не удалось, и в Соединенных Штатах, где дыхательный коэффициент растений был больше 0,9 и излишнее количество CO_2 поглощалось химически, а поглотитель удалялся. Аналог "Биоса-3" нигде не был осуществлен. В системе "Биос-3" испытатели находились до шести месяцев непрерывно.

Технология проектирования систем жизнеобеспечения для космических миссий должна быть тесно связана с типом миссии и ее длительностью. Например, для лунной базы, рассчитанной на длительное функционирование, вес системы не играет большой роли – часть компонент конструкции может составлять лунный грунт, а поставки оборудования с Земли делаются один раз. При этом желательно снизить ежегодные поставки на базу и, что значительно важнее, снизить вероятность гибели экипажа базы, поскольку космонавтика была и остается опасной профессией. При этом главная опасность связана с риском аварии во время старта и посадки на Земле и на Луне: по нынешней статистике, вероятность катастрофы при каждом старте с последующей посадкой составляет около двух процентов. Поэтому, чтобы по возможности уменьшить риск гибели людей, выгодно отправлять космонавтов на длительные сроки – около трех лет. Слишком затягивать эти сроки тоже опасно, поскольку возрастает усталость и вместе с нею вероятность ошибок. Выгодно устраивать на базе высокий комфорт, чтобы космонавты не так быстро уставали и могли дольше там оставаться.

Характерно, что при оптимизации безопасности требуется разная стратегия на уровне миссии в целом и на уровне отдельного космонавта. Если космонавт находится на базе, он уже не может отменить возвращение на Землю и связанный с этим риск. Находясь на базе, космонавт устает физически и психически, что увеличивает шансы заболеть по возвращении на Землю; следовательно, у него есть индивидуальные причины поскорее вернуться. Тем не менее, космонавта придется задерживать на будущей лунной базе на длительный срок (как и его нынешних коллег на станции "Мир"). Некоторой компенсацией служат престиж и увлекательность космонавтики. Но главную роль играет практическая причина – снижая частоту смены экипажа, тем самым снижают суммарный риск для миссии в

целом.

Наряду с научно-инженерным подходом, осуществленным в красноярских биосферах, был предложен и испытан другой подход. Система, в которую Джон Аллен и его коллеги поместили восемь испытателей, называлась "Биосфера-2". Она не проектировалась как реальный прототип космических систем жизнеобеспечения близкого будущего, и работы велись вне рамок космических программ. Но при этом авторы проекта широко рекламировали создаваемую систему, как прообраз будущих поселений на других планетах. Их предприятие финансировалось частными лицами и стоило 162 миллиона долларов. Проектировщики этой системы исходили из философского представления, что система, по составу возможно ближе напоминающая земную биосферу, должна обладать способностью к самоорганизации, и что устроенный таким образом биоценоз будет пригоден для человеческой жизни.

Сооружение в пустыне Аризона, названное "Биосферой-2", имело высоту в 15 м и объем около миллиона куб.м (в три тысячи раз больше "Биоса-3"). Сверху "Биосфера-2" накрыта металлической конструкцией со стеклами, под землей – отделена от грунта листами нержавеющей стали. Эту систему не удалось полностью изолировать: было 5 – 7% обмена с атмосферой. Растения в "Биосфере-2" осуществляют фотосинтез за счет солнечного света. Поступающая солнечная энергия в конце концов переходит в тепло. Для охлаждения в системе имеется огромный подземный кондиционер, который также превращает в воду содержащийся в атмосфере водяной пар. Чтобы оболочка системы не разрушалась при изменениях атмосферного давления, в конструкции предусмотрен подвижный компенсатор разности давлений внутри и снаружи оболочки. Проектировщики "Биосферы-2" собрали вместе типичные компоненты земной биосферы: тропический ("дождевой") лес, саванну, океан с коралловым рифом, мелководное прибрежное море и агроферму. Всего в системе было около четырех тысяч видов животных и растений, а также восемь человек.

Если сравнить "Биос-3" и "Биосферу-2", то мы видим большие различия, и эти различия связаны не только с масштабами эксперимента. Еще до начала экспериментов в "Биосфере-2" оба подхода к моделированию биосферы были сопоставлены в дискуссии, происшедшей в 1989 году в сибирском городе Шушенское. Авторы проектов серии "Биос" и создатели "Биосферы-2" пришли к выводу, что их работы дают начало науке (для которой было принято предложенное американцами название "биосферика"). Но создатели "Биосферы-2" подчеркивали различие

основных парадигм, в рамках которых планировались эти две системы. Если при создании "Биоса-3" господствовал научно-инженерный подход, в котором заранее рассчитывалась продуктивность всех звеньев, так что система строилась как "машина с биологическими блоками", о правильной работе которых надо думать человеку, то авторы "Биосферы-2" в огромной степени рассчитывали на самоорганизацию экологических систем из организмов, находившихся в их оболочке.

К числу достижений создателей "Биосферы-2" можно отнести агроферму с очень высокой безотказностью всех процессов и хорошей производительностью. Интересно, что эта агроферма давала заметно больший, с учетом ее размеров, вклад в рециркуляцию веществ в системе, в частности, в производство кислорода, чем "дикие" участки "Биосферы-2", такие, как тропический лес. Поэтому не нужно думать, что наше сельское хозяйство не играет важной позитивной роли в оздоровлении атмосферы планеты, и что на это будто бы способны лишь первозданные леса. Впрочем, в древесине леса целлюлоза и лигнин сотни лет остаются в неразложенном состоянии, что существенно снижает концентрацию углекислого газа в атмосфере. В этом отношении недревесные растения не могут заменить леса.

И все же, в целом эксперимент в "Биосфере-2" принято расценивать как неудачу. В нем не удалось достигнуть, как планировалось, устойчивого состояния системы с благоприятными, или хотя бы пригодными для существования человека условиями. Это может служить доводом против антитехнологических настроений, часто высказываемых в экологической полемике: в самом деле, высокотехнологичные варианты систем жизнеобеспечения человека нормально работают, а проект, в котором ставка делалась на "самоорганизацию природных процессов", не сработал. Сначала в "Биосфере-2" наблюдалось падение концентрации кислорода и повышение содержания углекислого газа, что скорее всего было связано с непредсказуемой деятельностью бактерий почвы. Мы уже видели на рисунке 1, какое особое соотношение кислорода и углекислого газа делает возможным совместное существование растений и человека. Стоит нарушиться этому соотношению (к счастью для нас, поддерживаемому биосферой Земли), чтобы окончательный вид возникающего при этом биоценоза – если он не вымрет – стал непригодным для человеческой жизни. Можно сделать и другие предположения о причине нарушения состава атмосферы: вероятно, вымерли некоторые виды, способные играть регулирующую роль, и во всяком случае произошли вспышки массового размножения некоторых сельскохозяйственных вредителей (тараканов и

моли), уничтоживших часть урожая. Хотя дважды закачивали извне кислород, в конце концов значительное снижение концентрации кислорода сделало дальнейшее пребывание людей в системе невозможным.

Впрочем, не следует недооценивать значение эксперимента "Биосфера-2", доказавшего совсем иное, чем имели в виду его авторы. Этот эксперимент продемонстрировал, чего стоят надежды на "самоорганизацию природных процессов" без всяких интеллектуальных усилий с нашей стороны, столь характерные для современной цивилизации и выражающиеся в фанатической пропаганде так называемых "зеленых".

С другой стороны, система "Биосфера-2" может теперь рассматриваться как уникальный полигон для изучения возможностей ликвидации последствий экологических катастроф: если мы сумеем устранить последствия уже случившейся экологической катастрофы в "Биосфере-2", то получим поистине бесценные знания о том, каких усилий будет стоить восстановление земной биосферы в случае глобальной экологической катастрофы. Пожалуй, именно неудача эксперимента "Биосфера-2" делает этот проект, парадоксальным образом, важным, а продолжение работ в этой системе – крайне желательным для всего человечества.

Земля – космический корабль

В нынешнем критическом положении человеческой цивилизации экология играет важную роль, поскольку наиболее очевидный путь, на котором эта цивилизация может погибнуть, – это глобальная экологическая катастрофа. Естественно, в таком положении выдвигаются различные идеи, описывающие экологически безопасное будущее. По-видимому, их можно разделить на три группы, которые мы сейчас попытаемся изобразить.

Стационарная цивилизация. Один из представителей этой точки зрения, американец Фукуяма предлагает прекратить промышленную экспансию и остановить цивилизацию в том состоянии, которого она достигла во второй половине двадцатого века. Впрочем, он, кажется, считает, что такая остановка все равно произойдет, что бы мы ни делали. С этой позиции, достигнутый в Соединенных Штатах уровень цивилизации следует считать наилучшим возможным результатом истории. По этому поводу Фукуяма ссылается на Гегеля, который когда-то усматривал такой образцовый продукт истории в прусской монархии.

С экологической стороны такое предложение крайне опасно: при нынешнем состоянии природы отнюдь не ясно, останется ли она в равновесии, если не расширять ее эксплуатацию, а остановиться на нынешнем уровне, или даже снизить этот уровень. Мы уже запустили процессы, идущие независимо от нас, и природа вовсе не "успокоится" от того, что мы ее "оставим в покое". По всей вероятности, мы уже перешли рубеж, за которым регулирующие силы природы могут восстанавливать ее равновесие без нашего участия. Опыт "Биосферы-2" свидетельствует о том, как опасно полагаться в таких вопросах на "интуицию" и "здравый смысл"! Нужны обоснованные расчеты, постоянно сравниваемые с экспериментальными данными. Впрочем, стабилизация мировой цивилизации на уровне Соединенных Штатов неминуемо означало бы – при нынешних способах производства и потребления – экономическую и экологическую катастрофу.

Замкнутая цивилизация. Это проект "цивилизации замкнутых циклов", в принципе вовсе не эксплуатирующей природу, а почти запрещающей общение с ней. По предлагаемой идее, сфера цивилизации – которую можно назвать, несколько отступая от терминологии Вернадского, ноосферой – строго разграничивается с биосферой. Биосферу вообще не трогают, она сохраняется как парк для экскурсий и осторожного изучения.

Ноосфера разбивается на замкнутые в себе промышленные комплексы, перерабатывающие собственные отходы и использующие их для производства новой продукции. Каждый человек тоже замыкает собственный метаболизм (что не очень понятно, если люди будут потреблять продукцию промышленности и будет разделение труда).

Как нетрудно понять, замкнутые промышленные комплексы должны потреблять энергию, взятую извне; в действительности, им понадобится значительно больше энергии, чем обычным предприятиям. Тем самым, они не могут быть замкнуты по энергии; предположим, что они получают солнечную энергию – экологически чистую и почти бесплатную, что вполне может стать возможным для наших потомков. Далее, если только ноосфера не будет разделена на изолированные части, то промышленные комплексы будут выдавать продукцию для использования вне их, и тем самым не смогут быть вполне замкнуты. По существу, вся ноосфера превратится в единое предприятие невероятной сложности. Расчет деятельности такого предприятия столкнется с очевидными трудностями, относящимися ко всем сложным системам: можно будет рассчитывать только некоторые из ее функций. Но тогда теряется преимущество предсказуемости, приписываемое замкнутым комплексам. Наконец, идея замкнутости вряд ли совместима с экспансией, а, напротив, воспитывает психологическую установку на стагнацию, точно так же, как и первый подход. Мы полагаем, что в этом отношении обе предыдущих концепции противоречат природе человека – *активного существа*, не способного остановиться в своем развитии.

Планета – космический корабль. При этом подходе замкнутой системой считается, следуя идеям В.И.Вернадского, вся Земля. Признается невозможность точного расчета всей этой системы. Выбираются параметры, за которыми надо следить; особенно придется следить за обменом масс, выделяя решающие ресурсы. Важно следить и за балансом энергии, не допуская перегрева Земли; в частности, чтобы предотвратить "парниковый эффект", придется отказаться от углеродных топлив. Делаются прогнозы на ограниченные промежутки времени, результаты которых сверяются с измерениями; в случае надобности, включаются новые параметры. В общем, человек берет на себя управление Землей.

Как можно думать, сравнительно небольшой расход материалов и энергии, не нарушающий равновесия Земли, позволит перейти к освоению космического пространства, где достаточно места для неограниченного развития.

Глава 12. Демократия в свете избирательных процедур

Представительное правление

Государственный строй, именуемый демократией, основывается на предпосылке, что принятие законов и ведение государственных дел должны санкционироваться мнением большинства граждан. Вначале "гражданами" считались взрослые мужчины, принадлежащие племени, и в важных случаях устраивалось их общее собрание. Впрочем, уже в самом начале дошедшей до нас исторической традиции роль этого собрания была лишь формальной: решения готовились заранее родовой знатью, а народное собрание, не имевшее права обсуждать внесенные предложения, могло их только одобрить или отвергнуть; последнее случалось редко. Так обстоит дело у спартанцев, самого отсталого из греческих племен: собравшийся народ выражал свое мнение, извлекая звуки из своих щитов; так же "голосовали" древние германцы, окружавшие кольцом своих старейшин и отвечавшие на сделанные предложения гулом одобрения или неодобрения. Конечно, народным собранием манипулировали, заранее подготавливая нужное настроение, а по существу все дела решались келейно, в кругу знатных.

Мы не знаем, были ли когда-нибудь раньше более "демократические" способы правления, но во всех государствах античного мира вначале были народные собрания, откуда уже видно, что государства эти были небольшие. В самом деле, иначе невозможно было бы собрать всех граждан в одном месте. Аристотель выводит отсюда, что размеры государства должны быть таковы, чтобы все граждане могли услышать голос глашатая; такой взгляд в его время был уже анахронизмом, поскольку его ученик Александр Македонский основал обширную империю и управлял ею совсем иным способом. Вероятно, Аристотель игнорировал этот неприятный факт, сохраняя верность греческому пониманию государства – "полиса".

В Афинах, где было (в период расцвета, то есть в пятом веке до нашей эры) около 20 тысяч полноправных граждан, народное собрание стало играть гораздо более важную роль: там произносились речи, и решения принимались голосованием. Это и было началом "демократии": слово это означает "власть народа". Впрочем, в течение всей истории, за редкими исключениями, политические права граждан зависели от их сословного или имущественного положения. Даже в Афинах полное равноправие граждан продолжалось всего несколько десятилетий. При этом ни женщины, ни

греки из других государств, постоянно жившие в Афинах, не пользовались гражданскими правами, не говоря уже о рабах. Общее население афинского государства составляло свыше 300 тысяч человек, но только 20 тысяч из них были "граждане". Так обстояло дело в самом демократическом государстве древности.

Демократия Нового времени началась в Англии. Когда в 1215 году английские аристократы ("бароны") захватили в плен короля Иоанна Безземельного и заставили его подписать так называемую "Великую Хартию Вольностей", им не приходило в голову, что кто-нибудь кроме них может судить о государственных делах. Не было понятия "английский народ", а было представление, что управление государством -- дело *свободных людей*: германское слово "баро" первоначально и значило "свободный человек", да и сейчас титул барона по-немецки звучит Freiherr (буквально -- "свободный господин").

Стремление к равенству, в котором Токвиль видел главную движущую силу европейской истории в течение шестисот лет, было направлено против сословных ограничений и привело к предоставлению избирательного права сначала имущим классам, а потом и всему взрослому населению. Впрочем, даже в Англии всеобщее избирательное право для мужчин было установлено лишь в 1884 году, а женщинам пришлось дожидаться его еще сорок лет. Но в наше время "всеобщее, равное и тайное" избирательное право стало чем-то самоочевидным и неоспоримым, так что даже критическое обсуждение его считается неприличным. Поэтому мы будем исходить из предположения, что все граждане пользуются равными политическими правами.

Избирательное право означает, что граждане решают свои дела не на общем собрании, а выбирают своих представителей, которые составляют высшую государственную власть -- издают законы, назначают и контролируют должностных лиц, объявляют войну, и т.д. Это и называется *представительным правлением*. Необходимость такого правления очевидна даже в тех случаях, когда в самом деле возможно собрать всех граждан в одном месте, так как уже в Афинах народное собрание насчитывало несколько тысяч человек, а при таком числе участников трудно дать высказаться всем желающим, и еще труднее соблюдать порядок. Поэтому афиняне устроили "совет пятисот" (буле), выбирая по жребию 50 представителей от каждого из десяти округов (фил). Этот совет имел общие собрания, но текущую работу и подготовку законопроектов возлагали поочередно на группы из 50 человек, так что в течение месяца заседали представители одной филы. Таким образом возможно было эффективное

обсуждение. По жребию выбирали также народный суд, как и теперь выбирают присяжных. Но было в Афинах и нечто вроде правительства – коллегия стратегов, занимавшаяся не только военными, но и разными другими административными делами. Для этого требовались специальные знания, и тут жребий не применялся: стратегов выбирали голосованием.

В Новое Время парламентское правление было раньше всего установлено в Англии; его имитировали в дальнейшем все страны, претендующие на репутацию "демократических". Первоначальная идея парламентского правления состояла вовсе не в представлении всего населения – и тем более не в равном представлении всех граждан – а в представлении специальных интересов. Вначале это были интересы феодалов и церкви, затем – крупных купцов, и даже в наше время сохранился пережиток истории – палата лордов. Более того, и в наши дни считается, что депутаты представляют в парламенте интересы своих избирательных округов, а "верхние палаты" должны представлять штаты или национальные меньшинства.

Но важнейшей чертой представительного правления стала система политических партий, выдвигающих кандидатов в парламент: они составляют промежуточный аппарат между избирателями и властью. Шансы на избрание имеют лишь те, кто уже расположил в свою пользу верхушку одной из партий. Поэтому члены парламента обычно не являются типичными представителями своих избирателей, а в некотором смысле "выдающимися": иногда более образованными, чаще более ловкими в делах, и обычно выражающими интересы тех или иных специальных групп. В этом смысле парламенты и сейчас представляют больше частные интересы, чем "народ" в целом. Если бы целью демократии было в самом деле создание "точной модели" общества, то лучшим методом выборов был бы, конечно, жребий. Нетрудно понять, что возникшее таким образом собрание было бы некомпетентно и недееспособно, так как состояло бы из людей без всякого опыта ведения дел, и поскольку этим людям еще предстояло бы образовать связи и коалиции, с помощью которых ведутся все человеческие дела. Партийная система доставляет кандидатов, уже получивших такую подготовку, хорошую или плохую. В этом смысле она обеспечивает "улучшенное" представительство: для эффективного управления нежелательно поручать власть неопытным новичкам. Но эта же система и "ухудшает" представительство, поскольку дельцы, вышедшие из партийных кругов, обычно уже подверглись коррупции. Так как партийная система неизбежно сопровождает парламентское правление, мы примем ее как исходное данное при обсуждении избирательных процедур,

составляющих предмет этой главы.

Таким образом, мы предполагаем, что избиратель должен выбрать на каждое место в парламенте, зависящее от его голоса, представителя одной из партий, участвующих в выборах. Предположим для простоты, что в его округе должен быть выбран только один депутат. Так как личность кандидата мало зависит от избирателя (а определяется партией), то можно попросту считать, что избиратель голосует за одну, и только одну из партий. Ясно, что это резко сокращает его влияние на дела управления. В самом деле, часто случается, что избиратель сочувствует некоторому тезису в программе партии А (например, реформам с целью создания свободного рынка), и в то же время другому, входящему в программу партии Б (например, требованию вернуть России Аляску). Тогда, если он проголосует за кандидата партии А, то поддержит лишь первый тезис, но может быть уверен, что его кандидат отвергнет второй; а если он проголосует за кандидата партии Б, тот поддержит второй тезис, но не первый. В общем случае позиция такого избирателя не будет правильно отражена в результатах выборов – именно потому, что он может высказаться только за одну партию.

Как уже было сказано, парламент обычно отражает специальные интересы некоторых групп, но всегда признавалось (во всяком случае, уже с возникновения конституции Соединенных Штатов), что в нем должны быть также представлены мнения "народа". С такой формулой (прямо заимствованной из политического языка отцов американской республики) согласятся, конечно, любые политики нашего времени, знающие, что почем в политической практике: любое правительство должно быть "не слишком непопулярно". Тем более с нею согласятся сторонники "утопической" демократии, желающие, чтобы правительство представляло только мнения "народа". Во всяком случае, мнения народа должны в какой-то мере приниматься в расчет. Выше было сказано, что мнения народа искажаются уже самой системой политических партий и очень часто требованием голосовать только за одну из них. Дальше мы займемся этим вопросом, а теперь посмотрим, каким образом – при наличии партийной системы – мнение народа искажается избирательной системой, то есть способом подсчета поданных голосов. Само собой разумеется, при таком рассмотрении уже предполагается, что в стране есть политические партии в подлинном смысле слова, то есть имеющие определенную программу, определенную традицию и пользующиеся поддержкой определенных слоев населения. Не всякая группа чиновников или дельцов, имеющих денежные средства для политической пропаганды, заслуживает названия партии. Но

мы будем считать, что партии уже есть: только в этом случае демократические процедуры могут работать.

Пропорциональная и мажоритарная избирательная система

Простейшая и, как можно предполагать, самая справедливая система выборов состоит в том, что каждая партия получает в парламенте число мест, пропорциональное числу полученных голосов. Но первая в истории – и устойчиво действующая – избирательная система, появившаяся в Англии, построена совсем не так. Неписаная английская конституция полагает, что каждый депутат палаты общин представляет интересы определенной группы избирателей, составляющей "избирательный округ". Это исключает выборы по партийным спискам, в которых голосуют не за определенного человека, а за партию, представленную списком выдвинутых ею кандидатов: каждый кандидат должен бороться за место в парламенте от одного избранного им округа. Поэтому он должен быть известен в этом округе и популярен в нем; первоначально шансы на успех имели только кандидаты, проживающие в этом округе, или пользующиеся покровительством влиятельных в нем лиц. Поскольку в Англии с 18-го века сложилась двухпартийная система, избирательная борьба происходит между "правой" партией – консерваторов или "тори" – и "левой", которую в прошлом составляли либералы ("виги"), а теперь в этой роли выступают лейбористы. За редкими исключениями, в каждом избирательном округе конкурируют кандидаты двух главных партий, в рамках которых помещается, как принято думать, почти весь спектр политических убеждений англичан. Обычно обе партии получают в каждом округе значительный процент голосов. Но голоса избирателей, оказавшихся в меньшинстве, "пропадают": они не оказывают никакого влияния на ход государственных дел. Теоретически возможен и такой случай, когда партия А получит в каждом округе 51% голосов, а партия Б – 49%, но в парламенте все места достанутся партии А. Известны случаи, когда партия, получившая в сумме меньше голосов, имела большинство мест в парламенте и могла управлять страной до следующих выборов. На практике дело обстоит так, что очень небольшое преимущество одной из партий над другой – в несколько процентов по всей стране – приводит к ее подавляющему большинству в парламенте, что полностью передает ей управление страной на четыре года, поскольку правительство ответственно только перед парламентом. Такая избирательная система называется мажоритарной, от слова, означающего "большинство"; она принята и в

Соединенных Штатах, во многом перенявших английский способ правления.

Ясно, что мажоритарная система плохо отражает настроения избирателей в данный момент времени. Но если оппозиция имеет прочные корни в стране, то она может победить на следующих выборах, когда правящая партия, наделав ошибок или попросту надоев, потеряет несколько процентов голосов. Если партии не представляют резко противоположных взглядов на жизнь – чего в Англии и Соединенных Штатах обычно не бывает – то чередование партий, каждая из которых проводит свои меры, каждый раз удовлетворяет определенную часть избирателей и не слишком обижает остальных. В общем, такая система дает возможность сильным группам избирателей влиять на "свою" партию, а через нее – на политику правительства. На случай резкого изменения настроений в стране или грубых просчетов правящей партии предусмотрен роспуск парламента, после чего проводятся внеочередные выборы. Этот внепарламентский механизм приводит в действие неофициальная группа опытных политических лидеров (а официально – король или президент).

Важным преимуществом мажоритарной системы является ее эффективность. Парламент, где одна из партий имеет прочное большинство, поддерживает однопартийное правительство. В течение срока полномочий такого парламента, до следующих выборов, может проводиться последовательная политика: состав кабинета не меняется, или мало меняется, и законодательство "своей" партии не препятствует политическому курсу.

Мажоритарная система сложилась в течение столетий и, как это обычно бывает с традиционными учреждениями, хорошо приспособлена к стране, где она родилась. Пропорциональная система возникла не так давно – в девятнадцатом веке – и раньше всего во Франции, где радикальная ломка государственного строя в ходе нескольких революций не оставила камня на камне от традиции, и где пытались строить новый республиканский порядок "из головы", исходя из абстрактных принципов, выработанных "философами". Главным из этих "философов", особенно ответственным за ход французской революции и ее законодательство, был Ж.Ж.Руссо.

Поскольку во Франции не сложилась двухпартийная система, и пропорциональная система выборов не способствовала ее формированию, в парламенте Франции обычно было множество партий, ни одна из которых не получала абсолютного большинства. Правительства могли опираться лишь на непрочные коалиции, обычно державшиеся несколько месяцев –

редко год или два. В этих условиях, получивших название "министерской чехарды", Франция между двумя войнами не имела последовательной политики и, в частности, не смогла подготовиться к обороне, что было одной из важных причин поражения в 1940 году. Та же практика, и та же калейдоскопическая смена правительств продолжалась и после войны, поскольку Франция сохранила пропорциональную систему выборов. Лишь угроза гражданской войны, возникшая вследствие "колониальной" войны в Алжире, вынудила французов согласиться на мажоритарную систему выборов, смягченного английского образца, которую провел генерал де Голль. С тех пор Франция имеет устойчивое правление. Тот же путь прошла Италия после падения фашизма, но там реформа избирательной системы еще не завершена.

Избирательная система всегда представляет компромисс между двумя основными принципами: принципом "народоправства", то есть правом народа контролировать государственные дела, и принципом "управляемости", или эффективности управления. Как мы увидим дальше, политика вообще есть искусство компромисса: например, есть много способов голосования, на первый взгляд одинаково "справедливых", но эти способы невозможно согласовать друг с другом. Точно так же, неизбежны компромиссы между пропорциональной и мажоритарной системой выборов, поскольку та и другая выражают важные интересы народа.

Предельный случай двухпартийной системы

Давно замечено, что в странах с двухпартийной системой правления существует тенденция к "уравниванию" обеих партий: независимо от их исторического происхождения и первоначальных идеалов, которые они выражали, со временем условия избирательной борьбы делают эти партии почти неотличимыми друг от друга в их практической деятельности. Так обстоит дело в обеих странах классической парламентской демократии – Англии и Соединенных Штатах. Конечно, этот процесс еще не дошел до логического завершения, и нетрудно понять, что такое завершение означало бы конец всякой принципиальной политики и замену ее простым состязанием между общественными группами за большую долю государственного бюджета, облеченным в форму мирной процедуры и предотвращающим насильственные формы борьбы. Очень сомнительно, чтобы это было лучшим решением общественных вопросов, даже в рамках стагнирующего общества, описанного выше. Вообще, стагнация – или, на русском языке, застой – слишком дорогая цена за отсрочку решения важных вопросов.

Но двухпартийное правление, в рамках доступных ему задач, несомненно эффективно и заслуживает изучения. Оказывается, можно объяснить, каким образом практика избирательной борьбы делает обе партии столь похожими. В этом объяснении можно, в виде первого приближения, допустить, что обе партии ставят себе целью *только* власть. Так как предполагается (также для простоты), что они этой властью не злоупотребляют, а остаются в рамках закона, то возникает вопрос, *зачем* партийным деятелям нужна власть. Вероятно, так же трудно объяснить, зачем люди играют в игры без материального вознаграждения. Во всяком случае, двухпартийная политическая игра может быть полезна для решения не слишком серьезных споров о распределении ресурсов.

К сожалению, мы не умеем изложить это исследование без применения высшей математики. Оно приведено в конце главы.

Условность избирательных процедур

Мы не будем рассматривать недостатки всеобщего и равного избирательного права. Оставляя в стороне все эти сложные вопросы, мы будем исходить из принципа равноправия всех граждан, считая его "справедливым", и рассмотрим некоторые средства осуществления такого равноправия. Таким образом, термин "избиратель" будет означать то же, что "взрослый гражданин". Положение, при котором большие группы избирателей (даже большинство избирателей) никак не могут повлиять на итоги выборов и, следовательно, теряют свои голоса, должно считаться несовместимым с равноправием граждан. Избирательный закон, допускающий такое положение вещей, противоречит понятию демократии и должен быть исправлен. Для простоты исследования мы будем считать, что выбирается только одна палата парламента, или только одно должностное лицо (например, президент). Естественно, все депутаты парламента также предполагаются равноправными.

Решение, которое должно быть принято избирателями, состоит в том, *кого выбрать* на места, установленные конституцией. Конституция указывает необходимые для этого процедуры, в том числе процедуру принятия избирательного закона. Когда конституция и избирательный закон уже приняты, можно, конечно, оспаривать их "справедливость", как бы ни понималось это выражение, но предписанные ими процедуры должны точно выполняться: иначе нет никакой демократии. Непонимание роли процедур, их строгого формального соблюдения, свидетельствует о незрелости общества: такое общество всегда склонно к произволу и полагается на чей-нибудь личный авторитет. Заметим, что конституционные процедуры и составляют, по существу, определение принятого в данной стране типа демократии.

Конституция устанавливает, что в стране должен быть парламент из такого-то числа депутатов, должен быть президент, и т.д. Следующий, очень важный шаг в определении понятия демократии – это выбор процедуры голосования. От той или иной процедуры выборов зависит характер избираемой власти, ее образ действий, ее авторитет в народе.

Предположим, что надо выбрать парламент заданной численности N из предложенного списка кандидатов, число которых превосходит численность парламента. Оставим в стороне вопрос, кто и каким образом составляет список кандидатов, и насколько эта процедура (составляющая,

конечно, важную часть определения "демократии") зависит от избирателей. Допустим для простоты, что голосуют все избиратели страны (не разделенные на избирательные округа), или все избиратели одного округа. Избирателю предъявляется список кандидатов $a, b, \dots, y, z$, из которых должно быть избрано N человек. Он производит с этим списком действия, предусмотренные избирательным законом, и когда все избиратели произведут эти действия, избирательная процедура указывает способ упорядочения списка. По избирательному закону, N первых лиц в упорядоченном таким образом списке войдут в парламент. Приведем несколько избирательных процедур – обычных и необычных.

Правило относительного большинства. Каждый избиратель отдает голос единственному кандидату из списка. Затем считают, сколько всего голосов получил каждый кандидат, и располагают кандидатов в порядке числа голосов.

Может случиться, что ни один из кандидатов не получит абсолютного большинства голосов избирателей. Отсюда – название правила. Не исключено также, что несколько кандидатов получат одинаковое число голосов, и не ясно будет, кого из них считать избранным. В этом случае нужны дополнительные процедуры, например, жребий.

Правило абсолютного большинства. Каждый избиратель отдает голос единственному кандидату из списка. В парламент проходят кандидаты, получившие больше половины голосов. Если таких окажется больше, чем мест в парламенте, то нужны дополнительные процедуры, указываемые законом. Если меньше, то проводится второй тур со списком оставшихся кандидатов, по правилу относительного большинства.

Правило этого рода чаще всего применяется не для выборов в парламент, а при выборах президента, где число кандидатов невелико, а выбирается один человек.

Правило выборов по очкам. Каждый избиратель указывает для всех кандидатов целые неотрицательные числа – баллы, выражающие его предпочтения. Если все указанные баллы равны нулю, его бюллетень считается недействительным. В противном случае все положительные баллы нормируются, то есть каждый балл делится на сумму всех баллов, после чего сумма всех "нормированных" баллов становится равной единице. Дальше работают с этими нормированными баллами. Нормировка исключает случайные "масштабные" предпочтения избирателя, так как важны лишь отношения его предпочтений. Иногда с самого начала разрешают применять в виде баллов только определенные числа, например, целые числа от одного до пяти. Затем для каждого кандидата суммируются

баллы, полученные им от всех избирателей, и в парламент проходят набравшие наибольшее число баллов. В этой процедуре тоже должно быть правило, что делать в случае совпадения баллов. Выборы по очкам иногда применяются на спортивных соревнованиях.

Дальше мы укажем более сложные процедуры принятия решений, которые могут иметь практическое значение. Ясно, что от принятых правил зависит определение "представительного правления", то есть принятый тип "демократии". Можно задать эти правила и таким образом, что лишь небольшая часть избирателей сможет влиять на результаты выборов – что и происходит сейчас в России. Возникает вопрос, какие избирательные правила надо все еще считать "демократическими". Формально в "репертуар" избирательных процедур входит и следующая, отнюдь не нарочно придуманная, а самая известная в России:

"Правило диктатора". Указывается один избиратель, именуемый "первым". Он определяет порядок кандидатов в списке и, тем самым, состав парламента. Остальные избиратели не имеют никаких обязанностей. Название этого правила принадлежит американскому экономисту Эрроу, с именем которого мы еще встретимся.

Конечно, такое правило выборов противоречит нашему интуитивному представлению о "народовластии". Попытаемся теперь сформулировать некоторые общие требования, необходимые (как можно полагать) для того, чтобы избирательную систему можно было считать "демократической". По аналогии с математической терминологией, мы назовем эти требования аксиомами.

1. *Аксиома полноты*. Для любых двух кандидатов a , b правило голосования должно приводить к одному из трех результатов: либо a предшествует b (в установленном этим правилом порядке), либо b предшествует a , либо a и b занимают одинаковое место.

Смысл этой аксиомы в том, что правило голосования всегда применимо и для любых двух кандидатов всегда дает ответ, хотя может случиться, что они не получают предпочтения друг перед другом. В таком случае правило недостаточно (как это уже было в предыдущих примерах); но ведь мы формулируем теперь только необходимые требования к избирательным процедурам.

2. *Аксиома транзитивности*. Если по правилу голосования кандидат a предшествует кандидату b , а b предшествует c , то a предшествует c .

"Транзитивность" означает "возможность перехода". Ясно, что всякое разумное правило упорядочения должно удовлетворять предыдущему требованию, необходимому во всякой ранговой структуре.

3. *Аксиома единогласия.* Если по правилу голосования оказывается, что *каждый* избиратель предпочитает кандидата а кандидату b, то по этому правилу а предшествует b.

Иначе говоря, единогласная воля избирателей должна уважаться.

4. *Аксиома независимости.* Относительный порядок любых двух кандидатов а и b, определяемый правилом голосования, зависит только от индивидуальных предпочтений избирателей, но не от порядкового положения какого-либо третьего кандидата с. Это значит, что "превосходство" а над b, устанавливаемое по этому правилу, не зависит от их возможных связей с кем-нибудь другим. Таким образом, суждение избирателей, резюмируемое правилом голосования, относится к конкретным кандидатам, известным избирателям, а не, например, к их партийной принадлежности или личным связям. Эта аксиома, по-видимому, описывает уже достаточно зрелую и сознательную демократию.

Оказывается, что все эти аксиомы вместе предъявляют уже слишком много требований к человеческому роду! А именно, К. Эрроу доказал следующую теорему:

Единственное правило голосования, удовлетворяющее всем аксиомам 1 – 4, есть "правило диктатора".

Очевидно, что это правило в самом деле удовлетворяет аксиомам 1 – 3: диктатор устанавливает очередность, как хочет, и не приходит при этом в противоречие с этими аксиомами, если только не запутается в нумерации. Что касается аксиомы 4, то в этом случае индивидуальные предпочтения избирателей сводятся к предпочтениям диктатора, и больше ни от чего не зависят – ведь он единственный избиратель. Эрроу доказал, что никакое другое избирательное правило не удовлетворяет сформулированным выше аксиомам. [Несложное доказательство этой теоремы, с рядом примеров, можно прочесть в статье В.Пахомова (журнал "Квант", NN 9 – 10 за 1992 год)].

Можно истолковать этот вывод таким образом, что совершенная демократия невозможна – ведь и все человеческие учреждения в той или иной мере несовершенны, и не следует предъявлять к ним слишком общие и абстрактные требования. Поскольку полная независимость суждений (аксиома 4) явно недостижима, всегда будут группы людей, связанные общими взглядами, и суждение человека будет в некоторой степени зависеть от группы, к которой он принадлежит, – по рождению, воспитанию или его собственному выбору. Но, конечно, такие группы не обязательно будут похожи на нынешние политические партии.

Метод статистической выборки

Выборы представляют собой случайное событие, которое может быть описано с помощью теории вероятностей. Начнем с простейшего случая, когда выбирают президента из двух кандидатов, А и В. Каждый избиратель может проголосовать за А или против А (либо высказавшись за его противника В, либо не явившись на выборы, что мы будем также толковать как голосование "против А"). Можно ли говорить о вероятности того, что взятый наугад (то есть выбранный по жребию) избиратель проголосует за А? Мы примем частотное определение вероятности: будем говорить, что голосование за А имеет вероятность p , если в достаточно длинной серии повторений этого голосования отношение числа положительных голосований M к числу всех голосований в серии N приблизительно равно p , причем приближение тем лучше, чем больше длина серии N . Конечно, при этом случайный избиратель каждый раз выбирается заново, посредством нового жребия. Если испытания такого рода дают устойчивое значение частоты $p = M/N$, то можно допустить, что вероятность голосования за кандидата А существует и равна p . Разумеется, при этом надо заботиться, чтобы выбранная группа из N человек (входящих в серию) была действительно случайна – иначе законы теории вероятностей неприменимы. Например, в этой группе – именуемой статистической выборкой – должно быть примерно одинаковое число мужчин и женщин, как и во всей популяции; в группе не должна преобладать какая-нибудь профессия, какой-нибудь уровень образования, и т.д. В общем, правильная статистическая выборка должна быть возможно более точной моделью популяции. Нахождение таких выборок – особое искусство, которому учатся статистики, а правильность выборки можно проверить методами теории вероятностей.

Теория вероятностей позволяет также вычислить, насколько велика должна быть выборка из N человек, чтобы полученная из нее частота M/N достаточно мало отличалась от искомой вероятности p . Предположим, что вероятность голосования за А в самом деле известна: например, пусть выборы уже прошли, так что можно принять за p долю всех избирателей, проголосовавших за А. Посмотрим, что можно сказать о возможных результатах выборов по выборке из N избирателей. Число M членов этой выборки, высказавшихся за кандидата А, может быть от 0 до N , и для каждого значения M существует вероятность того, что ровно M человек

выскажется за А; обозначим эту вероятность через $p(M)$. Если известна вероятность голосования за кандидата А (равная p), то вероятность M положительных ответов при нашей выборке из N человек, как можно показать, равна

$$p(M) = C_N^M p^M (1-p)^{N-M},$$

где – так называемые биномиальные коэффициенты, равные

$$C_N^M = \frac{N!}{M!(N-M)!};$$

здесь $N!$ – произведение всех целых чисел от 1 до N , именуемое факториалом числа N , и аналогично $M! = 1 \times 2 \times 3 \times \dots \times M$, $(N-M)! = 1 \times 2 \times 3 \times \dots \times (N-M)$. Например, если в группе 50 человек ($N = 50$), то при $p = 2/3$ вероятность того, что за А выскажутся 30 человек, равна

$$C_{50}^{30} \cdot \left(\frac{2}{3}\right)^{30} \left(\frac{1}{3}\right)^{20} = \frac{50!}{30!20!} \left(\frac{2}{3}\right)^{30} \left(\frac{1}{3}\right)^{20}.$$

Доказательство формулы для $p(M)$ мы не приводим: его можно найти в любом учебнике теории вероятностей. Заметим, что прямое вычисление биномиальных коэффициентов при больших значениях M и N довольно трудно и обычно заменяется методами высшей математики. Но нас интересует здесь только общий характер зависимости $p(M)$. Эта зависимость изображена на рисунке 1, для случая $N = 50$, $p = 2/3$. Вдоль оси абсцисс отмечены точки $M = 0, 1, 2, \dots, 49, 50$, а значение изображенной функции – очень точно приближающей $p(M)$ – равно ординате графика с абсциссой M .

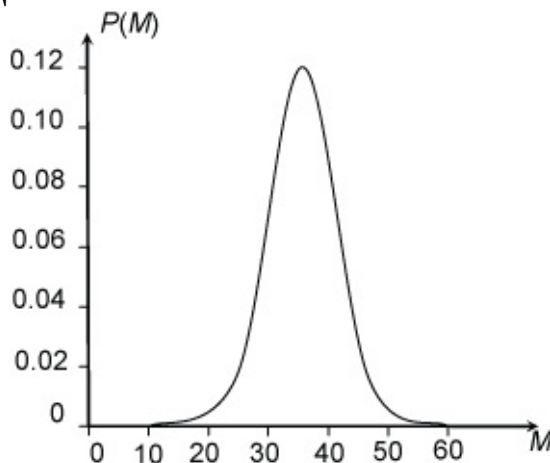


Рис.1

Колоколообразная кривая рисунка 1 называется гауссовой кривой и имеет важное значение в естествознании и статистике. Наибольшее

значение $p(M)$ – около 0,12 – получается при $M = 33$, то есть при ближайшем целом к $2/3 \times N$; это значит, что вероятнее всего исход опроса, при котором за А выскажется pN членов выборочной группы. Из рисунка 1 видно, что, например, при $M < 25$ общая вероятность того, что за А выскажется не больше половины группы, равная

$$p(0) + p(1) + p(2) + \dots + p(25),$$

оказывается ничтожно малой. Точный расчет показывает, что эта сумма меньше 0,005, т.е. вероятность такого результата меньше 0,5%.

Таковы должны быть вероятности $p(M)$, если в самом деле вероятность $p = 2/3$, то есть если $2/3$ всех избирателей в самом деле проголосовали за кандидата А. Но, предположим, в результате опроса членов выборки из 50 человек обнаружилось, что среди них числа сторонников и противников А примерно равны: пусть, например, оказалось, что $M = 24$. Вероятность такого результата в предположении, что $p = 2/3$, ничтожно мала – меньше 0,5%. Этот результат опроса 50 человек даст основание поставить под сомнение опубликованные данные выборов, по которым А избран большинством в $2/3$ голосов.

Конечно, если в результате выборов голоса "за" и "против" разделились почти поровну, то обнаружить неправильность выборов было бы не так легко. В этом случае гауссова кривая имела бы максимум вблизи точки 25, и значение $M = 24$ попало бы в область, где $p(M)$ достаточно велико, так что противоречие с утверждением избирательной комиссии не получилось бы. Дальше мы покажем, что делать в таких случаях, довольно частых в политической практике. Если вероятное отклонение от истинного значения из-за подделки в ходе голосования составляет значительно бо'льшую величину, чем вероятное отклонение из-за малой величины выборки, то данным математического контроля можно доверять больше, чем официальным данным, даже если выборка состоит всего из нескольких десятков человек. Такой контроль нетрудно устроить, и он обходится недорого.

В России в специальных работах оценивалась доля подделанных бюллетеней: она нередко составляла проценты, и даже десятки процентов от числа поданных бюллетеней. Характерным примером было голосование по принятию Конституции 1993 года, когда в официальных данных была на несколько процентов завышена явка избирателей. Хотя в действительности явное большинство высказавшихся по этому поводу избирателей было "за" новую Конституцию – то есть хотя и нет содержательных оснований считать, что народ отверг эту Конституцию – согласно ранее принятому решению требовалось, чтобы на референдум по Конституции явилось не

менее пятидесяти процентов избирателей; между тем, в действительности явилось около сорока девяти процентов. По закону следует считать, что референдум о Конституции не состоялся, и что мы, следовательно, живем по Конституции, не принятой в установленном законом порядке. Закон должен выполняться точно и формально, без всяких "полезных" для власти толкований, потому что привычка к таким толкованиям – и тем самым поощрение фальсификаций – возвратит нас ко временам произвола.

Указанная оценка явки избирателей была выполнена специальной аналитической группой при президенте России. Сотрудников этой группы можно отнести к числу сторонников новой Конституции, но они не были склонны к незаконным методам. После опубликования указанной экспертной оценки в мае 1994 года (в газете "Известия", тоже симпатизирующей нынешней Конституции) эта специальная группа была тут же расформирована – именно за эту оценку! Отсюда видно, что у ответственных за такое решение людей не было понимания примененных методов оценки, в данном случае общепринятых в международной практике. (Конечно, мы не утверждаем, что не было желания исправить очевидную подделку!).

В международной практике формируется традиция проверки хода голосования на выборках объемом в 2% от числа активных (участвовавших в выборах) избирателей. Такая процедура весьма надежна, поскольку выборка достаточно велика для практически всех реальных ситуаций (причем степень ее достоверности полностью контролируется математическими средствами). Затраты на такую выборку весьма малы, поэтому в наши дни трудно относиться с доверием к выборам, на которых не предоставляются возможности независимого подсчета голосов, или же результаты таких проверок не принимаются всерьез. Конечно, при существующих – и постоянно применяемых – методах выборочного контроля грубая подделка результатов голосования представляет печальную особенность самых отсталых стран. В других странах есть много способов манипулировать мнениями избирателей, но объектами манипуляций являются они сами, а не их бюллетени.

Метод статистической выборки можно применять не только для контроля правильности выборов, но и с другими целями. Одна из них – это предсказание результатов выборов. Для этого, опять-таки, находят "правильную" (или, как говорят статистики, "представительную") выборку избирателей и опрашивают их до выборов, за кого они намерены голосовать. Можно предполагать, что и в этом случае опрашиваемые будут говорить правду, хотя нельзя исключить и "застенчивость" тех, у кого

непопулярные взгляды. Существует искусство опроса, также требующее специального опыта и имеющее свои правила. (Когда в Москве провели опрос общественного мнения об отношении к смертной казни, то выбрали наудачу фамилии из телефонной книги и "обзванивали" выбранных людей. При этом не только было нарушено правило представительности выборки – поскольку и в Москве телефоны есть у меньшинства населения – но, сверх того, самая форма опроса исключала серьезное отношение к предмету). Теория вероятностей говорит, что при любой форме выборов (не только при выборах президента, когда, как мы допустили для простоты, всего два кандидата) достаточно большая, правильная статистическая выборка дает очень точное предсказание результатов будущих выборов. Выборочные предсказания делаются специальными "Институтами общественного мнения", и точность их, естественно, возрастает по мере приближения выборов, так как настроение избирателей меняется. В некоторых странах введены даже законодательные ограничения публикации таких предсказаний, особенно в период перед выборами, так как опасаются, что они деформируют поведение избирателей (например, у сторонников предположительно проигрывающего кандидата пропадает охота идти на выборы). Конечно, опросы общественного мнения также предотвращают фальсификацию результатов голосования: никто не поверит официальным данным, если они резко отличаются от того, что предсказали в согласии между собой опубликованные разными институтами выборочные данные. [Существуют и другие способы предсказания, основанные на более специфических для данного электората интересах и вкусах. Например, в Соединенных Штатах можно очень достоверно предсказать, будет ли переизбран нынешний президент, исходя из определенных экономических показателей за последний год его деятельности – откуда видно, что американцы давно уже считают государственную власть ответственной за свое хозяйственное положение. Но метод статистической выборки универсален – он применим во всех случаях].

Можно пойти дальше и вообще заменить выборы опросом представительной выборки граждан! Это чрезвычайно удешевило бы выборы, нисколько не изменив их результаты, – кроме, разве, случаев, когда голоса за двух кандидатов делятся почти поровну, и когда выборы напоминают лотерею с непредсказуемым исходом. В таких случаях метод выборки был бы всего лишь другой формой лотереи. В таких странах, как Россия, метод выборок был бы также несравненно надежнее деятельности "избирательных комиссий" (даже не умеющих скрывать свои подделки). Опасность коррупции в самой группе исследователей можно уменьшить,

проведя несколько параллельных опросов: если их данные согласуются между собой и все противоречат официальным данным, то фальсификация сразу же обнаруживается.

Возникает соблазн сделать следующий шаг: если выборка является очень точной "моделью" образа мыслей и вкусов избирателей, то почему бы не сделать случайную (квалифицированным образом случайную!) выборку из 500 или 600 лиц и не объявить этот коллектив парламентом? Ведь если бы целью выборов было в самом деле создание "точной модели" рассматриваемого общества, то эта цель была бы таким образом достигнута без больших затрат, без "идеологических кампаний" и взаимного поношения политиков, и вдобавок с ручательством математики за правильность "моделирования"!

Надо сказать, что эта идея вовсе не нова. В самом деле, случайная выборка – это не что иное как надежно проведенная жеребьевка, а жребий применялся в человеческих делах с незапамятных времен. Но к жребию не прибегали, когда от избранников требовались профессиональные знания, жизненный опыт или та уравновешенность суждений, которую обозначают словом "мудрость". По жребию и до сих пор выбирают присяжных, поскольку предполагается, что все граждане с незапятнанной репутацией способны судить о простом факте преступления, получив всю наличную информацию. Мы не будем останавливаться на этом вопросе. Точно так же, мы не будем обсуждать здесь "право вето", предназначенное для охраны особых интересов. В наше время это право позволяет подолгу уклоняться от решения назревших вопросов и служит не столько интересам, сколько "самолюбию" великих держав.

Главная причина, по которой невозможно заменить выборы процедурами статистических выборок, коренится в психологии масс. В демократическом обществе избирателю важно ощущать себя ответственным и деятельным участником процесса управления государством. Поэтому личное участие в выборах – существенная часть ритуалов демократической культуры. Точно так же, никакой гражданин в наше время не откажется от равной доли ответственности за все общественные дела, проявляющейся в равенстве избирательных прав. Эту ритуальную сторону общественной жизни трудно изменить. Многие полезные улучшения в избирательных процедурах – даже не посягающие на равноправие граждан – сталкиваются с сопротивлением просто потому, что они непривычны, о чем еще будет речь дальше.

Закон Ципфа – Парето

В процессе выборов избиратели выражают свое отношение к тем или иным политическим деятелям или партиям, отдавая свой голос за того или иного кандидата или партию. Возникает вопрос – существуют ли какие-либо закономерности, описывающие распределение голосов избирателей между различными кандидатами или партиями? Если никаких закономерностей нет, то возможны любые соотношения между числами голосов, полученных кандидатами или партиями, а также между этими числами голосов и, например, явкой избирателей или числом недействительных бюллетеней. Если же существуют определенные закономерности в распределении голосов, то возможны не все варианты их распределения. На материале многих выборов в самых различных странах была выявлена статистическая связь, существующая между числами голосов, полученных на выборах различными кандидатами и партиями. Было установлено, что эта связь описывается следующей простой зависимостью:

Если по одной оси отложить в логарифмическом масштабе число голосов $N(i)$, полученных каждым кандидатом, а по другой оси, также в логарифмическом масштабе, место i , занятое тем же кандидатом в ходе выборов, то полученные точки с достаточным приближением располагаются вдоль прямой линии:

$$\ln N(i) = A - B \times \ln i \quad (1)$$

Справедливость приведенного уравнения была подтверждена в серии работ российских специалистов по математической политологии (Собянин, Суховольский, 1995), выполнивших анализ результатов выборов народных депутатов России в 1990 году, выборов Президента России в 1991 и 1996 годах, а также данных о выборах в ряде стран, начиная с выборов президента Франции в 1848 году, где победил Луи-Наполеон Бонапарт.

Этот математический результат нетривиален по своей природе. Специалистам – физикам, химикам, металлургам, демографам, экологам и представителям многих других областей знания, имеющих дело с большими массивами статистических данных, хорошо известно, что указанная численная закономерность носит общий характер и описывает ситуацию "свободной конкурентной борьбы" за распределение конечного количества каких-либо условных "благ". Оказывается, все мыслимое многообразие объектов, ситуаций и причинно-следственных связей не

меняет характера этой зависимости: коль скоро имеется свободная конкуренция, ее результаты в любом случае укладываются на "логарифмическую прямую" – меняются лишь константа А и крутизна наклона прямой В. И наоборот: коль скоро имеются отклонения от условий свободной конкуренции, точки неминуемо отклоняются от прямой – и тем дальше, чем значительнее "факторы несвободы". Так, например, "конкуренция" городов за численность проживающего в них населения приводит в цивилизованных странах именно к такой зависимости. Между тем, в СССР такие города, как Москва, Ленинград и некоторые другие центры значительно отклонялись от "прямой свободной конкуренции" – вследствие административных ограничений, связанных с паспортным режимом. Аналогичным образом, свободная конкуренция приводит к той же зависимости между размерами крупнейших состояний и "местом", занимаемым их владельцами в списке таких состояний – разумеется, в тех частях света, где такие списки существуют. В точности таков же известный зоологам закон распределения хищников по массе (при отсутствии антропогенных факторов), и т.д.

Впервые закономерности этого рода установил итальянский социолог и математик В.Парето, занимаясь распределением жителей страны по величине их богатства; впоследствии к подобным же выводам пришел американский лингвист Дж.К. Ципф, изучая распределение частоты употребления слов в текстах. Различные варианты написанного выше соотношения носят название закона Ципфа – Парето. Методы анализа, связанные с изучением ранговых распределений, получили широкое распространение в лингвистике, наукометрии, экологии. Соблюдение соотношения (1) для избирательного процесса означает, что существует "свободная конкуренция" всех кандидатов, имеющих возможность беспрепятственно объяснять избирателям свои политические взгляды и политическую платформу.

Выполнение закона Ципфа – Парето для избирательного процесса означает, что каждый из кандидатов, каждая из партий и политических групп избирателей, голосующих по определенному типу, обладает своей собственной политической платформой, не перекрывающейся со всеми остальными. Имеющиеся кандидаты должны перекрывать все возможные предпочтения, имеющиеся у избирателей; тогда доля избирателей, ищущих свой выбор вне предлагаемого списка кандидатов, достаточно мала, и уравнение (1) с высокой точностью описывает распределение голосов избирателей. В противном случае в распределении (1) могут возникнуть пустые "ниши", и весь анализ усложняется.

Расчет параметров A и B , входящих в уравнение (1), производится по данным о численности избирателей, голосовавших за разных кандидатов или за разные политические группы, с помощью методов регрессионного анализа. Параметр A в уравнении (1) представляет собой логарифм числа избирателей, отдавших свои голоса за кандидата-лидера. Величина B – коэффициент предпочтения – характеризует наклон прямой (1) и служит численной мерой однородности выбора избирателей. Если $B = 0$, это означает, что у избирателей нет никаких предпочтений одних партий или кандидатов перед другими, и что все они получили на выборах одинаковое число голосов. Напротив, при больших значениях крутизны B партии-аутсайдеры получают очень мало голосов по сравнению с партиями-лидерами (однако, на практике параметр B почти никогда не бывает больше единицы). Если же замечаются отклонения от прямой типа (1), то при сделанных выше предположениях это указывает на отсутствие условий свободной политической конкуренции. Это может быть вызвано либо наличием каких-то дополнительно действующих внешних факторов, например, запугивания избирателей возможными политическими и экономическими репрессиями в случае голосования (или неголосования) за того или иного кандидата, либо прямой фальсификацией результатов выборов при подсчете голосов в избирательных комиссиях разного уровня. На рисунке 2 приведен типичный график рангового распределения численности голосовавших на выборах в России. Как можно видеть, между численностями различных групп избирателей и рангами этих групп (т.е. местами кандидатов) в логарифмических координатах (по обеим осям) практически наблюдается линейная связь.

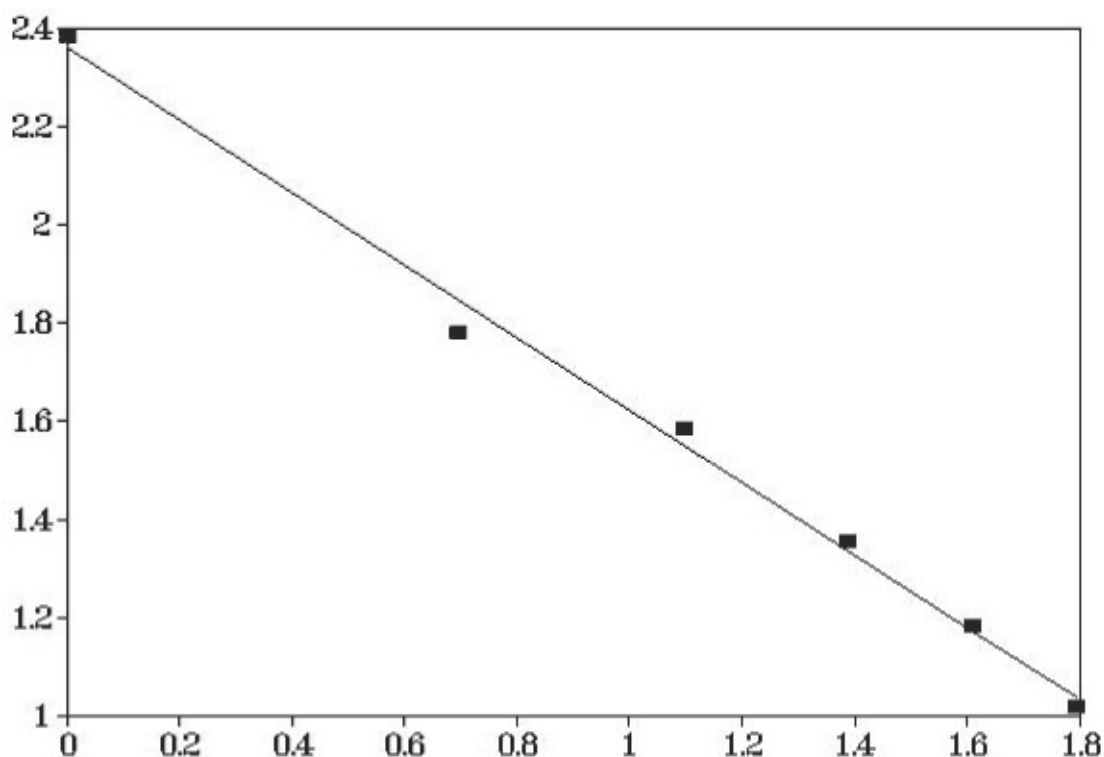


Рис.2

Распределение голосов избирателей на выборах в Государственную Думу по партийным спискам 12 декабря 1993 года (Свердловская область).

Тип распределения голосов, поданных за различных кандидатов или партии, помогает выявить фальсификацию результатов выборов. В простейшем случае фальсификации, если в урны подброшено какое-то число бюллетеней, заполненных в пользу какого-то кандидата или партии, то оказывается, что ранговое распределение числа голосов, поданных за отдельных кандидатов, не изображается прямой. Но если исключить данные о кандидате, в пользу которого проводились фальсификации, то для остальных кандидатов (или партий) ранговое распределение будет соответствовать теоретическому. В рассматриваемом случае можно оценить число подброшенных бюллетеней по разнице между числом голосов, полученных таким кандидатом по официальным данным, и числом, найденным из уравнения рангового распределения после исключения данных, относящихся к упомянутому кандидату. На рисунке 3 приведено распределение голосов, поданных – по данным избирательной комиссии – за кандидатов на должность главы администрации Липецкой области на выборах, состоявшихся весной 1993 года. Это распределение очевидным образом далеко от прямой. В этом случае суд, прошедший в 1995 году, подтвердил наличие фальсификаций в пользу кандидата, занявшего первое

место.

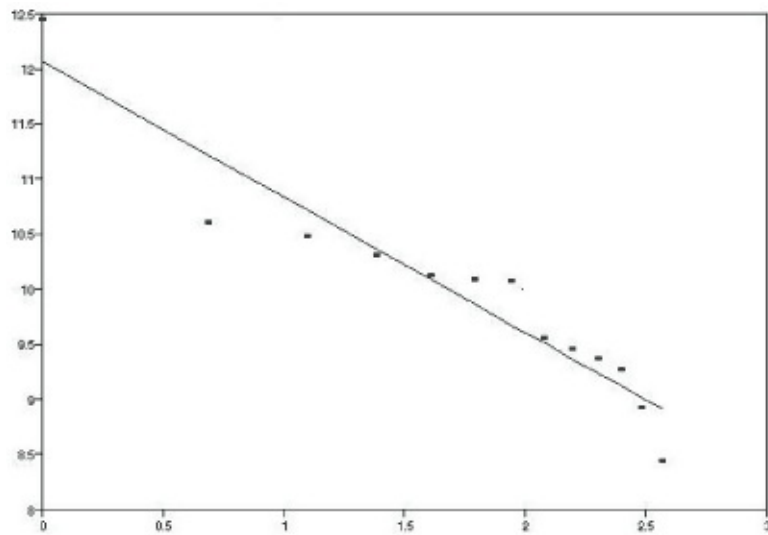


Рис.3

Распределение голосов, поданных за кандидатов на пост главы администрации Липецкой области в 1993 году.

Логика принятия решений

Выборы представляют частный случай принятия решений – важнейшей функции всего живого. Общество людей – это живая система, прокладывающая свой путь в меняющемся мире, и от принимаемых обществом решений может зависеть его выживание. Объявление войны, провозглашение республики, уничтожение сословных привилегий и, наконец, самое радикальное из всех решений – отмена права собственности – все это решения, определяющие судьбу наций, и даже культуры, охватывающей множество наций. В наши дни культурного упадка, когда некому принимать решения и события происходят наподобие оползня или эпидемии, о таких решениях говорят особенно красноречиво: журналисты назвали их "судьбоносными".

Впрочем, и в повседневной жизни общества часто приходится принимать решения, допускающие, по самому своему существу, лишь два ответа: "да" или "нет". Надо ли отменить обязательную воинскую повинность? Надо ли разрешить торговлю земельной собственностью? Надо ли принять а качестве герба византийского двуглавого орла? Как правило, эти вопросы важны (даже на первый взгляд анекдотический вопрос об орле). В таких вопросах нельзя придумать компромисс – немного больше этого, немного меньше того. Они допускают только два ответа: "да" или "нет". Мы назовем такие вопросы "дихотомическими". Этот термин, употребительный в логике и лингвистике, происходит от греческих слов, означающих "деление надвое".

Еще больше значение дихотомических вопросов в жизни индивида. Такие вопросы вытекают, несомненно, из сущности жизни. Организм может быть живым или мертвым; животное может бодрствовать или спать; хищник может атаковать свою жертву или нет, а жертва – защищаться или бежать. Решения по всем таким вопросам принимаются в виде команд, запрограммированных двоичным кодом – и этот код никоим образом не случаен. Сражаться или бежать, есть или не есть, любить или ненавидеть – это дилеммы, повседневно возникающие в жизни человека, даже в жизни высших животных. Ученый знает, что такое дихотомическая задача: ее можно решить или не решить, и отчетливо видно, решена она или нет. Таковы по-настоящему трудные и важные задачи; другие задачи, от которых можно "откалывать кусочки", решив их "лучше" или "хуже", обычно не имеют принципиального значения и возникают при развитии

уже известных подходов.

Конечно, в тех случаях, когда дело не касается принципов, политика допускает компромиссы, напоминающие торговые сделки. На этом основании появляются даже неприятные определения политики: говорят, что это "искусство компромисса", хотя это не вся правда, или даже – чтобы подчеркнуть свое отвращение к этому занятию – "грязное ремесло" (*sale besogne*). Можно, например, торговаться по поводу запрещения наркотиков, поскольку не очень ясно, что считать наркотиками. В это понятие логически входят алкогольные напитки и табак, но их запретить не удастся; вместо этого можно обсуждать вопрос о запрещении марихуаны, которая сама по себе не опасна, но служит для вовлечения в наркоманию молодых людей. Или можно, чтобы угодить фундаменталистам, запретить аборт, но только в определенных случаях, поскольку во всех случаях этого сделать не удастся. Компромиссы и сделки, приносящие в жертву какой-нибудь "священный принцип", как раз и породили то презрение к политике, из-за которого честные люди не хотят ею заниматься – тем самым отдавая ее в руки мошенников. Между тем, и в самом деле есть принципы, которыми жертвовать нельзя. Свобода и жизнь человека не могут быть предметом торга: об этом нам напоминают каждый раз, когда закрывают глаза на происходящее в Китае, или еще на несколько лет сохраняют смертную казнь в России.

Когда принимается дихотомическое решение, непременно бывает недовольная сторона. Часто эта сторона считает себя глубоко обиженной, ищет виновных или предателей – как это делали в свое время немецкие "патриоты", неспособные представить себе, что Германия (которая была для них "превыше всего" (*über alles*), могла естественным образом потерпеть поражение. Еще чаще проигравшие жалуются на "нечестную игру", подкуп и т.д. Но даже в самых добросовестных выборах одна сторона выигрывает, а другая проигрывает, и проигравшим приходится с этим мириться. Правильная философия рекомендует в таких случаях поведение, подобающее обеим сторонам: победителям – умеренность в осуществлении власти и уважение прав меньшинства, побежденным – спокойное повиновение закону и подготовку к следующим выборам. [Заметим, что хотя выборы, состоявшиеся в Германии в 1933 году, и были проведены согласно конституции, вслед за выборами эта конституция была уничтожена правительством. Демократически воспитанный народ должен был ответить на это восстанием, но немцы понимали в то время закон как волю начальства].

Что означают все эти соображения в политической практике? Прежде

всего, когда применяется дихотомическая процедура выборов, избиратель должен быть уверен, что эта процедура дает ему возможность высказать свое суждение. В тех же случаях, когда можно заменить эту процедуру компромиссом, способ достижения соглашений должен быть для избирателя понятен и приемлем, каковы бы ни были его взгляды. Займемся сначала первым случаем.

При установившейся двухпартийной системе, какая существует, например, в Англии и в Соединенных Штатах, избиратель не испытывает особой фрустрации от неблагоприятного исхода выборов. Прежде всего, соотношение сил в его избирательном округе обычно свидетельствует о том, что он поддерживает достаточно сильную и успешно действующую партию; нередко его партия, испытав неудачу в национальных выборах, получает мандат в том округе, где голосует этот избиратель. В таком случае он может думать, что "голосовал не напрасно", так как местные интересы, близкие избирателю и в ряде случаев выносимые на обсуждение перед выборами, будут представлены человеком его партии, избранным с его участием, который будет вести дела в парламенте, как он считает нужным. Даже в случае поражения в собственном округе избиратель видит обычно в парламенте влиятельную и деятельную фракцию его сторонников, так что он и его единомышленники все-таки голосовали не зря. Далее, он знает, что обе партии часто чередуются в осуществлении власти, и может надеяться на следующие выборы: если он и его друзья будут действовать энергичнее, то дела пойдут лучше. В общем, в двухпартийной системе избиратель может считать свой голос весомым, и свое участие в выборах не напрасным. Он может даже пытаться сделать партийную программу более содержательной, а партийную политику более серьезной.

Посмотрим теперь, как действует на избирателя существующая система выборов в России. У нас много партий, и поскольку еще не сложилась практика блоков и коалиций, придающих силу малым партиям в странах с установившейся парламентской традицией, избирательная процедура, разрешающая голосовать только за кандидата одной партии, действует против всех малых партий. Вследствие этого избиратели умеренных взглядов, голосующие за одну из малых "центристских" партий, по существу теряют свои голоса: у них и так мало шансов провести своего кандидата, но вдобавок пятипроцентный барьер, установленный с целью создания устойчивого большинства, почти уничтожает эти шансы. В самом деле, на выборах во вторую Думу из всех партий "центра" только две партии – "Яблоко" и НДР – смогли его преодолеть! На выборах по одномандатным округам 80 – 85% избирателей, явившихся голосовать, по

только что указанным причинам голосовали "напрасно", в том смысле, что результаты выборов не изменились бы, если бы они вообще не голосовали, – и они это хорошо знают, потому что их кандидаты не попали в Думу по округам. По партийным спискам напрасно голосовало 50% избирателей, что уже несколько лучше, но тоже неудовлетворительно.

Самое важное следствие такой процедуры голосования состоит в том, что почти все избиратели с умеренными взглядами голосуют напрасно, а места в Думе достаются сплоченным группировкам, занимающим "крайние" позиции и выражающим интересы бывших советских чиновников. В одномандатных округах, при правиле относительного большинства, такой "крайней" партии достаточно набрать 5 – 10% голосов от общей разрозненной массы избирателей, чтобы провести своего кандидата. Как уже было сказано в предыдущей главе, этим и объясняется преобладание в Думе "крайних" партий, вообще не выражающих взгляды большинства избирателей. Подсчет "потерянных" голосов, напротив, приводит к предположению, что большинство народа придерживается у нас умеренной ориентации.

Нетрудно понять, как действуют только что изложенные факты на наших избирателей. Они видят, что государством правят люди, не спрашивающие их согласия и не нуждающиеся в их одобрении – как это было и прежде, при советской власти. Конечно, это удобно для тех, кто уже устроился в бюрократическом аппарате, и нет сомнения, что их аппарат не сократился и не стал дешевле. Но масса избирателей становится равнодушной к политике, и не возникает стимулов к образованию подлинных, массовых политических партий. Чиновники скоро увидят, что люди попросту не захотят ходить на выборы. Тогда они, может быть, и вообще откажутся от ненужной игры в "парламент" и станут прямо договариваться между собой о дележе должностей. А поскольку в России статус всегда определяет всяческое благосостояние, то "демократия" переходит у нас в неприкрытую "тимократию" – власть богатых. Как видите, греки и это уже знали.

Другой пример нелепости избирательных процедур – это первые многомандатные выборы в региональные законодательные собрания и в Совет Федерации. Рассмотрим эту процедуру выборов на примере региональных выборов в одном из округов Красноярск. Требовалось избрать в представительный орган пять человек. По установленной процедуре, каждому избирателю выдавали бланк с фамилиями кандидатов, и он должен был отметить в этом бланке пять наиболее предпочтительных лиц. Затем подсчитывались голоса, поданные за всех кандидатов, и пять из

них, получивших наибольшее число голосов, считались избранными. Эта нехитрая процедура привела, разумеется, к точно таким же результатам, как и выборы в "Думу": голоса подавляющего большинства избирателей, раздробленные между мелкими партиями, должны были пропасть. Напомним, что у нас в России не умеют еще создавать блоки, соединяющие усилия малых партий, и это должен был принять во внимание избирательный закон.

Избирательные законы могут составляться либо по традиции, либо следуя некоторым априорным принципам. В первом случае они сами приспособляются к характеру страны, как это было в Англии; во втором – они исправляются и совершенствуются, даже в ущерб чистоте принципов, но также в направлении, соответствующем стране: это и сделал во Франции генерал де Голль. Авторы наших избирательных законов не могли держаться традиции, так как в России никогда не было представительного правления, и вряд ли заботились о каких-нибудь принципах; по-видимому, их интересовало лишь удобство управления. С этой целью они эклектически соединили разные учреждения и процедуры, заимствованные из практики западных стран и служившие там определенным целям: вероятно, они опасались неустойчивости и стремились к созданию крупных партий. Но поскольку они вовсе не принимали во внимание конкретное положение в России, то их усилия привели к избирательной системе, не сулящей ничего хорошего нашей будущей демократии.

Приведем теперь некоторые новые (или, во всяком случае, необычные) избирательные процедуры, которые могли бы помочь в решении основной проблемы – в улучшении представительного характера наших властей. Первую идею мы продемонстрируем на указанном выше примере выборов по многомандатному округу в Красноярске. Предположим, что надо по-прежнему избрать пять человек из списка кандидатов, насчитывающего больше пяти кандидатов (обычно значительно больше). Предлагаемая новая процедура начинается опять с того, что избирателям выдают бланки со списком кандидатов, и они – точно так же, как раньше – должны отметить в нем пять предпочтительных лиц. Таким образом, требуемые действия избирателей остаются теми же, и доставляют тот же материал; но использование этого материала совсем другое, позволяющее, как мы увидим, гораздо лучше отразить мнения избирателей. Несомненно, эта процедура на первый взгляд может показаться странной.

Сначала с помощью компьютера подсчитывают, кто из кандидатов списка получил меньше всего голосов, и этого кандидата вычеркивают из

списка, то есть считают (вполне естественно), что он не избран. Но после этого все избиратели, голосовавшие за этого – уже не прошедшего – кандидата, получают "компенсацию": за каждого из остальных четырех кандидатов, отмеченных ими в списке, им засчитывают не один голос (как всем другим избирателям), а $5/4$ голоса – так, чтобы общее число голосов, оставшихся "в их распоряжении", было прежним: $4 \times 5/4 = 5$. (Конечно, такой образ действий – лишь математический прием, уравнивающий невыгодное положение меньшинства, и слово "компенсация" не надо понимать в буквальном смысле: дело происходит так, как будто компьютер торопится вознаградить за промах самых незадачливых избирателей, голосовавших за безнадёжного кандидата!). После этого компьютер находит того из кандидатов, еще оставшихся в списке, кто получил наименьшее число голосов (с указанной выше "компенсирующей" добавкой!). Этого кандидата, если в списке осталось еще больше пяти фамилий, также вычеркивают. Затем всем избирателям, в списке которых осталось четыре отмеченных кандидата, дают ту же "компенсацию", что и выше, а тем, у кого осталось три фамилии, каждый из трех оставшихся голосов в дальнейшем считается за $5/3$ голоса; таким образом, за всеми избирателями сохраняется неизменный "потенциал голосования". Эта процедура, легкая для компьютера и вовсе не требующая участия избирателей, продолжается до тех пор, пока в списке не останется пять человек, которые и считаются избранными. [Проблема избирательных процедур подробнее рассматривается в работе [11]].

Можно показать на примере, как при этом нетрадиционном способе подсчета возникает пропорциональное представительство – меньшинство получает мандаты в пропорции к своей численности даже в том случае, когда подсчет по "обычному", применяемому по закону способу не дает ему ни одного мандата. Пусть в некотором многомандатном округе надо избрать трех человек. Допустим для простоты, что за эти три места борются только две партии (хотя предлагаемый метод подсчета голосов сохраняет свои преимущества в любом случае!). Назовем эти партии "левой" – в каком угодно смысле – и "правой", и предположим, что "левая" партия насчитывает в округе двести тысяч сторонников, а "правая" – сто тысяч. Пусть каждая из партий выдвинула по три кандидата на три имеющихся места. Тогда по первоначальному виду списков каждый "левый" кандидат получит двести тысяч баллов, а каждый "правый" – сто тысяч. При традиционном способе подсчета мандаты получили бы только представители "левой" партии. При нетрадиционном подсчете результаты будут иные. При первом пересчете будет вычеркнут один из "правых"

кандидатов (тот, у кого меньше всего голосов). После этого в бюллетенях сторонников "правых" останется всего два кандидата, зато на каждого из них придется уже по сто пятьдесят тысяч баллов. Впрочем, это будет все еще меньше, чем у каждого из "левых" кандидатов, так что при втором пересчете также будет вычеркнут "правый". Но тогда у сторонников "правых" в бюллетене останется лишь один кандидат – зато с тремястами тысячами баллов! Это больше, чем у каждого из "левых", у которых по-прежнему по двести тысяч, и третьим вычеркнутым будет уже "левый" кандидат. После этого подсчет оканчивается: на три места выбраны три претендента, два "левых" и один "правый", как раз пропорционально числу их сторонников.

Идея "компенсации", положенная в основу только что описанной процедуры, вовсе не означает, что голосовавшие за самых "неудачных" кандидатов в самом деле имеют моральное право на вознаграждение за свою незадачливость, или за неспособность к правильному суждению о возможных результатах выборов. Эта процедура – математический прием, действующий таким образом, как будто они имеют такое право. Целью этого приема является создание пропорционального представительства избирателей, удовлетворяющего и большинство, и меньшинство. Если в электорате имеется выраженное большинство, то оно останется и в представительном органе. Случай, когда такого большинства у избирателей нет, требует отдельного рассмотрения – с точки зрения управляемости.

Как мы уже говорили, самый термин "демократия" приобретает различный смысл в зависимости от правил принятия решений, подразумеваемых под этим словом, то есть от способа подсчета голосов. В настоящее время есть, таким образом, две отличающихся одна от другой "демократических идеи" – идея "мажоритарной демократии" и идея "пропорциональной демократии". Например, при выборах по партийным спискам (со свободной регистрацией партий и без всяких "барьеров"), как это было в единственных подлинно демократических выборах за всю историю России – выборах в Учредительное Собрание – реализуется идея "пропорциональной демократии". При выборах по одномандатным округам, с простым (а в современной России – относительным) большинством голосов реализуется идея "мажоритарной демократии". В сущности, борьба между разными концепциями демократии началась уже в древней Греции: к этому сводились законы Дракона, реформы Солона и Клисфена, и очень часто конфликты по поводу избирательного права не были мирными и бескровными. Поводом для общественных конфликтов может быть не только "тоталитаризм".

С точки зрения "пропорциональной демократии", на упомянутых выше многомандатных выборах по всей России были грубо нарушены принципы представительного правления, даже если принять, что соблюдался избирательный закон. Об этом говорили устроителям этих выборов, но вряд ли они могли это понять, и уж, конечно, не имели полномочий что-нибудь изменить.

Рассмотрим теперь ситуацию, когда у людей не возникают коренные, "дихотомические" разногласия, а только споры об интересах. Тогда можно моделировать политические сделки чем-то вроде "честной торговли". Можно представить себе, что люди пытаются купить право решить тот или иной вопрос по-своему, что "рынок" вопросов достаточно разнообразен, а равенство политических прав выражается в виде равенства покупательной способности: дело обстоит так, как будто человек является на рынок политических благ с определенным, одним и тем же для всех, капиталом прав и хочет по-своему распорядиться этим капиталом.

В Красноярске разрабатывалась система моделирования "честного рынка решений". В этом эксперименте каждый участник получал одну и ту же анкету с "пакетом проблем", для каждой из которых предлагался набор возможных решений. Каждый участник оценивал все решения всех проблем, содержащиеся в анкете, с помощью баллов – неотрицательных чисел (целых или дробных). Все заполненные анкеты поступали в компьютер, производивший сначала "нормировку" баллов – то есть умножавший баллы каждого участника на такое число, чтобы сумма умноженных баллов (по всем решениям всех вопросов вместе) была у каждого участника равна единице. Тогда возникает ситуация, аналогичная приходу на рынок группы покупателей с одной и той же исходной суммой денег.

Затем компьютер находил решение, получившее *наименьшую* сумму (нормированных) баллов, из всех решений всех проблем анкеты, и это "самое непопулярное" решение вычеркивалось из анкет. После этого участники, давшие нулевую оценку этому решению, сохраняли свои прежние баллы, а участники, положительно оценившие это вычеркнутое решение, получали "компенсацию" – их баллы стандартным образом увеличивались. Эту компенсацию можно сравнить с правилами рынка, где не платят за одно только неосуществленное желание приобрести товар, а за неполученный товар деньги возвращают. Если оказывалось несколько решений с минимальной суммой баллов (что крайне маловероятно), то для определенности вычеркивалось то из них, которое записано ближе к началу списка.

Для укороченного списка предыдущая процедура повторялась, и так далее, до тех пор, пока по некоторой проблеме оставалось одно решение, которое и считалось принятым. Это принятое решение не вычеркивалось из анкет, поскольку такое вычеркивание означало бы "премию" поддержавшим его участникам, получающим прибавку баллов за каждое вычеркнутое решение; между тем, их "удача" не должна им доставаться "слишком дешево". Здесь опять применяется идея "компенсации".

Процедура продолжалась до тех пор, пока решения не принимались по всем проблемам. Как показала дополнительная программа опроса, участники были удовлетворены достигнутым компромиссом [11].

Очевидное обобщение состоит в том, что по каждой проблеме надо выбрать не одно, а некоторое число n решений: процедура останавливается, когда их остается n .

Комментарий

Идея "компенсации" за неудачное решение – например, за потерю голоса – может рассматриваться как чисто математический прием, охраняющий права меньшинства. На этой точке зрения мы и стояли в предыдущем изложении, и она естественна в рациональном мышлении. В самом деле, если человек понес ущерб вследствие собственной ошибки или расхождения с большинством, то нельзя доказать, что нужно компенсировать такой ущерб за счет кого-то другого. Но наша культура основана на ценностях отнюдь не рационального происхождения. Как уже было сказано, самое представление о принципиальном равенстве всех людей, на первый взгляд противоречащее повседневному опыту, возникло не из соображений удобства управления и организации выборов, а глубоко заложено в психике человека и оказывало непреодолимое воздействие на весь ход истории в течение ряда столетий. Идея справедливости не доказуема рационально и не выводится из оптимизации каких-нибудь экономических или социологических величин.

Уже равенство избирательных прав, с узко рациональной точки зрения, не более чем полезная фикция. Но если мы, исходя из более глубоких идей гуманизма, признаем за каждым человеком право на равное участие в общественных делах, то справедливо не отказывать ему в удовлетворении некоторых его пожеланий, если они не находятся в безусловном противоречии с интересами других – например, в праве быть представленным и услышанным, через своих представителей, в органах власти. Отсюда возникает представление о правах меньшинства, столь резко нарушенных в избирательной практике нынешней России. Более того, каждому должна быть предоставлена возможность участвовать в формировании неизбежных компромиссов повседневной политики, и его равное право голоса должно доставить ему некоторую "покупательную способность" на рынке политических сделок – как это предлагается, например, в описанных выше процедурах.

С другой стороны, не следует забывать об опасностях демократии. Победа немецких нацистов на выборах 1933 года остается страшным уроком тем, кто вместе с Руссо верит в непогрешимость всеобщего голосования. Способность пользоваться демократической системой правления – не исходная посылка демократии, а ее трудное достижение.

Модель конкуренции двух близких партий за голоса избирателей

Политическую жизнь часто обсуждают в рамках предположения, что различные партии выражают специфические интересы различных групп населения. Однако, такое предположение – не единственно возможное: можно проводить анализ и с других позиций.

Мы попытаемся предположить, в качестве модели политической жизни, что имеется только две партии, причем ни одна из них не имеет предпочтительной связи с какими-либо группами населения, но обе руководствуются только желанием выиграть выборы. Население же мы будем считать неоднородным, характеризуя его свойства одним параметром x , так что группы населения выделяются интервалами $(x, x + dx)$. Пусть число людей в такой группе равно $P(x)dx$. Если считать из населения только избирателей и принять, что соблюдается равное избирательное право, то это же означает число голосов, которым располагает группа.

Предположим, что единственный вопрос, служащий предметом политических разногласий, это распределение бюджетных ассигнований между группами населения. Пусть функция их распределения есть $m(x)$, то есть по предлагаемому бюджету с такой функцией распределения группа $(x, x + dx)$ должна получить $m(x)dx$ рублей. Каждая из двух партий предлагает перед выборами свой бюджет, в чем и состоит ее политика: первая партия предлагает распределение $m_1(x)$, вторая – $m_2(x)$. Полная сумма, подлежащая распределению, считается фиксированной, и не предполагается никакой бюджетной экономии, так что в обоих предложенных бюджетах общая сумма расходов фиксирована – обозначим ее через M . Тогда имеем условия

$$\int m_1(x)dx = M, \quad \int m_2(x)dx = M.$$

Пусть теперь группа избирателей $(x, x + dx)$ отдает на выборах первой партии долю голосов $C_1(x)$, а вторая партия долю $C_2(x)$. Ясно, что оба эти числа неотрицательны, и если принять (для упрощения рассуждений), что голосуют все избиратели, то $C_1(x) + C_2(x) = 1$.

В целом по стране первая партия наберет

$$N_1 = \int P(x)C_1(x)dx$$

голосов, а вторая партия

$$N_2 = \int P(x)C_2(x)dx$$

голосов.

Естественно предположить, что доли голосов $C_1(x)$ и $C_2(x)$ для всех групп населения определяются программами партий, так что они зависят от

функций $m_1(x)$, $m_2(x)$ и, возможно, отдельно от x . Таким образом, мы имеем два функционала:

$$C_1(x) = C(x, \{m_1(x)\}, \{m_2(x)\})$$

$$C_2(x) = C(x, \{m_2(x)\}, \{m_1(x)\})$$

причем номер партии не входит в число параметров, влияющих на предпочтения избирателей: они расчетливы, но вне бюджетных вопросов "аполитичны".

Далее, примем еще одно упрощающее предположение: допустим, что голосование группы $(x, x + dx)$ зависит только от размера ассигнований, предусмотренных для *этой* группы, но не от ассигнований для других. Это предположение "локальности" означает, конечно, равнодушие к интересам других, если они не отражаются *немедленно* на собственных интересах субъекта. Математически оно выражается в том, что функционалы C_1 , C_2 выражаются через функцию трех переменных C в виде

$$C_1(x) = C(x, m_1(x), m_2(x))$$

$$C_2(x) = C(x, m_2(x), m_1(x))$$

По определению функционалов C_1 , C_2 , партии наберут, соответственно, следующее число голосов:

$$N_1 = \int P(x) C(x, m_1(x), m_2(x)) dx,$$

$$N_2 = \int P(x) C(x, m_2(x), m_1(x)) dx.$$

Задача первой партии состоит в достижении максимума функционала

$$N_1 - N_2 = \int P(x) [C(x, m_1(x), m_2(x)) - C(x, m_2(x), m_1(x))] dx$$

при дополнительных условиях

$$\int m_1(x) dx = M, \quad \int m_2(x) dx = M.$$

Обозначая разность $C(x, m_1(x), m_2(x)) - C(x, m_2(x), m_1(x))$ через $q(x, m_1(x), m_2(x))$, получаем уравнения Лагранжа

$$P(x) \frac{\partial}{\partial m_1} q(x, m_1(x), m_2(x)) + \lambda_1 = 0,$$

$$P(x) \frac{\partial}{\partial m_2} q(x, m_1(x), m_2(x)) + \lambda_2 = 0,$$

где функция $q(x, m_1, m_2)$ антисимметрична относительно двух последних аргументов.

В виду полной симметрии задачи относительно обеих партий, естественно считать, что ее решения для обеих совпадают, то есть

$$m_1(x) = m_2(x) = m(x)$$

тогда для определения получаем уравнение

$$P(x) \frac{\partial}{\partial m_1} q(x, m_1, m_2) \Big|_{m_1=m_2=m(x)} + \lambda = 0,$$

$$\lambda_1 = -\lambda_2 = \lambda$$

Чтобы составить себе представление о свойствах решения, прибегнем к обычному в таких случаях моделированию: рассмотрим некоторое правдоподобное выражение функции C . Ясно, что если отношение m_1/m_2 стремится к нулю, то C тоже стремится к нулю, так как никто не будет голосовать за партию, которая ничего не обещает. Если же m_1/m_2 стремится к бесконечности, то C стремится к единице, потому что вторая партия оказывается в этом случае бесперспективной. Можно считать поэтому, что зависимость C от отношения m_1/m_2 имеет график вида, изображенного на рисунке 4.

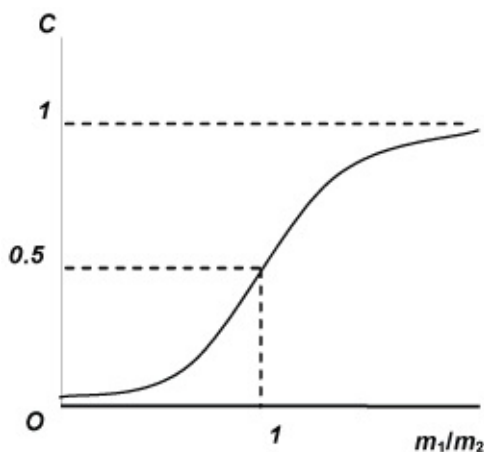


Рис.4

Это наводит на мысль задать модельную функцию $C(x, m_1, m_2)$ в виде

$$C(x, m_1, m_2) = \frac{m_1^{a(x)}}{m_1^{a(x)} + m_2^{a(x)}},$$

откуда имеем

$$C(x, m_2, m_1) = \frac{m_2^{a(x)}}{m_1^{a(x)} + m_2^{a(x)}},$$

и

$$q(x, m_1, m_2) = \frac{m_1^{a(x)} - m_2^{a(x)}}{m_1^{a(x)} + m_2^{a(x)}}.$$

Поскольку мы предположили, что для искомого решения $m_1(x) = m_2(x)$, то есть отношение этих функций равно 1, то уравнение Лагранжа принимает вид

$$P(x) \cdot \left(\frac{y^{a(x)} - 1}{y^{a(x)} + 1} \right) \bigg|_{y=1} \cdot \frac{1}{m(x)} + \lambda = 0,$$

или

$$\frac{1}{2} P(x) \cdot a(x) \cdot \frac{1}{m(x)} + \lambda = 0,$$

то есть партийная программа обеих партий будет иметь вид $m(x) = K \times P(x) \times a(x)$,

с коэффициентом пропорциональности K , определяемым бюджетными ограничениями.

Если реакции избирателей всех групп на предлагаемый бюджет одинаковы, то функция $a(x)$ постоянна. В этом случае каждая группа получит ассигнования, пропорциональные ее численности. В более реалистическом случае группы реагируют различно, и множитель $a(x)$ определяет "силу нажима" группы с характеристикой x , то есть ее избирательное влияние, определяющее вид основного функционала реакции.

Заметим еще, что при выбранном "модельном" виде этого функционала полученное решение, как можно показать, устойчиво, в том смысле, что передача некоторой суммы от группы $(x, x + dx)$ группе $(y, y + dy)$ изменяет значение $N_1 - N_2$ лишь на бесконечно малую высшего порядка

и, следовательно, не приносит выгоды. Можно привести примеры функционалов, для которых дело обстоит иначе.

Заключение

Мы хотели бы привести в заключении нашей книги простейшую модель человеческой активности. При всей ее примитивности, она позволяет выделить два крайних типа человеческого поведения: зависимый, или служебный, и автономный, или творческий. Конечно, в чистом виде они не встречаются и представляют идеализацию реального поведения человека, в котором служебные и творческие мотивы образуют сложную смесь с различным отношением составляющих. Имея в виду реальности нашего времени, мы принимаем в этой книге упрощенную концепцию человека: это человек Адама Смита, «честно соблюдающий правила игры», но преследующий только собственную выгоду, причем эта выгода всегда допускает денежное выражение. Таким образом, это человек, управляемый единственным числовым параметром, или, если угодно, «одномерный человек». Мир, населенный такими людьми, был бы невыносимо скучен и, как можно предвидеть, постепенно приходил бы в упадок. Он не продержался бы долго, потому что у индивида, соблюдающего «правила игры», должны быть и другие мотивы, кроме личной выгоды – как это хорошо понимал еще Адам Смит, автор трактата по философии нравственности. Если у человека нет других мотивов, то он перестанет соблюдать эти правила, пытаясь их обойти, что можно уже наблюдать в наше время.

Все мы хотели бы жить в лучшем мире. В этой книге мы мало занимались тем, как сделать этот мир более справедливым или – что не менее важно – более интересным. Экология, по крайней мере, старается сделать его более чистым, и здесь можно ожидать некоторого общего согласия: есть мало людей, предпочитающих жить в грязи.

Для качественной оценки человеческого поведения предположим, что средний годовой доход индивида равен q рублей, а приращение дохода, с целью стимулировать его деятельность, составляет Δq рублей. Тогда безразмерное число

$$x = \Delta q / q$$

можно принять за меру стимуляции; если индивид «одномерен», это единственная стимуляция, способная заставить его проявить большую активность. Отрицательные значения x также стимулируют активность индивида: угроза денежных потерь заставляет его больше работать. Будем откладывать величину x по оси абсцисс.

Приращение активности, происходящее от стимула x , обозначим через y . Величина y может измеряться в различных единицах, например, в единицах произведенной индивидом продукции или в часах рабочего времени. Имеется в виду, что индивид – как и полагается одномерному человеку – занимается только одним видом деятельности, и что эта деятельность допускает количественную оценку. Будем откладывать величину y по оси ординат. Тогда для служебного типа человека, как можно ожидать, получится следующий график (сопровожаемый некоторым истолкованием).

Согласно этому графику, если $x = 0$, то есть если нет никакой добавочной стимуляции по сравнению с обычными мотивами работы, то активность не меняется. При положительной стимуляции активность повышается до некоторого предельного значения $y_{\max}$, соответствующего физиологическим возможностям индивида Y . При отрицательной стимуляции активность также возрастает до того же предела, хотя, может быть, и по другому закону. При этом не предполагается, конечно, что одномерный человек может что-нибудь улучшить или изобрести, поскольку для этого необходимы стимулы, зависящие не только от денег.

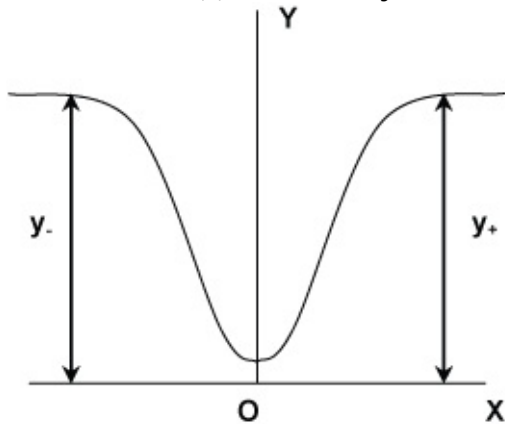


Рис. 1

Гораздо труднее описать стимуляцию независимого человека, способного к творчеству. Творчество проявляется «спонтанно», то есть без видимых причин; но в среднем, для людей определенной профессии или определенного наследственного дарования, можно пытаться выделить переменные, от которых зависит их активность. Такими переменными могут быть природные условия, семейное положение, любознательность, одобрение или осуждение коллег и окружающей публики, моральные или религиозные мотивы, наконец, предполагаемое благо человечества и суждение потомства. Отдавая себе отчет в трудности или невозможности

числовой оценки таких стимулов, можно попытаться описать положение такого человека с помощью многомерного пространства с координатами $u, v, w, \dots$, задающими все его мотивы; одним из них может быть и денежный стимул x , до некоторой степени способный доставить человеку простейшие блага, какие можно купить.

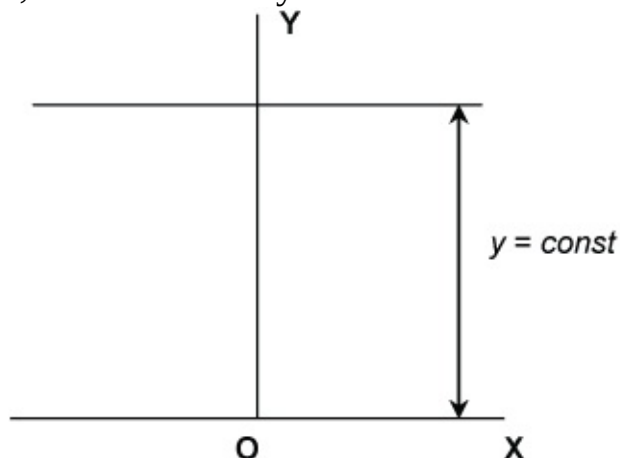


Рис.2

Конечно, поведение «многомерного» человека вряд ли можно описать каким-нибудь наглядным способом; но если закрепить все стимулы $u, v, w, \dots$, вовсе не оцениваемые в денежной мере или только отчасти переводимые в денежное выражение, как, например, честолубие или статус в общественной иерархии, то оставшуюся зависимость от денежного параметра x можно изобразить графиком, форма которого, конечно, зависит от закрепленных значений других параметров. Крайний случай представляет героическая личность, активность которой невозможно купить никакой наградой и нельзя подавить никаким наказанием: таков был Джордано Бруно, сожженный в 1600 году в Риме, на площади Цветов. Конечно, человек, отказавшийся отречься даже под угрозой костра, не сделал бы этого ради денег. Такой случай изображен на рисунке 2, где активность y не зависит от x (хотя и может зависеть от других переменных).

Творческий тип человека представляют многие писатели, художники, ученые и бесчисленные простые люди, не измеряющие в деньгах то, что им нужно для жизни. Лев Толстой не хотел получать деньги за рассказы, написанные для народа. А. С. Попов, создатель радио, опубликовал свое открытие, предоставив его в общее пользование (тогда как другой человек, Г. Маркони, пытался получить на то же изобретение патенты, и даже разбогател). Альберт Эйнштейн советовал молодым ученым наниматься смотрителями маяков, чтобы иметь достаточно времени для размышлений.

Наконец, известны случаи, когда бескорыстное служение моральному идеалу – своему народу или всему человечеству – охватывало большие группы людей. Самым ярким примером этого является русская интеллигенция.

Каждую культуру можно оценить тем, насколько она ценит этот высший, творческий тип человека.

Литература

1. Крылов М. П. Реакция населения России на современную экологическую ситуацию. Изв. РАН, сер. Геогр., № 6, 1995, с. 52.
2. UNO Energy Statistical Yearbook, 1982, 1992.
3. Smil V. Energy in World History, Westview Press, 1994.
4. International Energy Outlook, U. S. Dept. of Energy, 1995.
5. Мур Б., Бартлетт Д. Земля и биосфера. В кн.: Космическая биология и медицина. Совместное российско-американское издание в 5 томах, Москва, «Наука», 1991, с. 365-391.
6. Washington Post, Febr. 1997.
7. McEvedy B., Johnes R. Atlas of World Population History, Facts on File, New York, 1978.
8. U. S. Bureau of Census, International Data Base, 1997.
9. World Population from Year 0 to Stabilization, United Nations, 1996.
10. Khlebopros R. G. Socio-Economic Estimation of Ecological Objects (Two Limiting Cases of the Hierarchy of Characteristic Times). In: Global and Regional Ecological Problems, Krasnoyarsk, 1994.
11. Суховольский В. Г., Охонин В. А. Индивидуальный и групповой выбор: методы описания и анализа. РАН, Красноярский Ин-т Биофизики, препринт 222Б, 1995.