

**ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ
ЗА РУБЕЖОМ**

ЭКОНОМИКА

**Г.ОДУМ и Э.ОДУМ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
БАЗИС
ЧЕЛОВЕКА
И ПРИРОДЫ**

ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ
ЗА РУБЕЖОМ

ЭКОНОМИКА



H.T. ODUM, E.C. ODUM

ENERGY
BASIS
FOR MAN
AND NATURE

MC GRAW-HILL BOOK COMPANY
NY 1976

Г. ОДУМ и Э. ОДУМ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
БАЗИС
ЧЕЛОВЕКА
И ПРИРОДЫ

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО

под редакцией и с предисловием
кандидата философских наук

А. П. ОГУРЦОВА

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПРОГРЕСС»
МОСКВА 1978

Переводчики:
М. Н. АРОНЕ, М. М. КРЕЙСБЕРГ,
В. Л. ЛЕВИН, А. И. ПОПОВА

В век научно-технической революции все большее значение приобретают вопросы, связанные с рациональным использованием энергетических ресурсов Земли, взаимодействием природы и человека. В книге излагается сущность энергетических процессов, принципов, оценивается роль и влияние энергии на жизнь человечества, на состояние окружающей среды. Наряду с историей вопроса авторы затрагивают современные энергетические проблемы, показывают их влияние на развитие экономики различных стран. Рассматриваются возможные тенденции развития энергетики и экономики в будущем.

Книга рекомендуется не только специалистам, но и широкому кругу читателей.

Редакция литературы по экономике

© Перевод на русский язык и предисловие

«Прогресс», 1978

0 10803-840 53-78
006(01)-78



ПРЕДИСЛОВИЕ

Пусть не напрасно греет и светит солнце,
Пусть не напрасно течет вода и бьются
волны о берег,
Надо отнять у них бесцельно
расточаемые дары природы
И покорить их, связав их по своему
желанию

Данте

В последние годы пристальное внимание ученых, специализирующихся в различных областях науки, и широких кругов мировой общественности привлекает сложный комплекс проблем, получивших название «глобальные проблемы современности». К ним обычно относят социальные последствия научно-технической революции, разоружения, роста народонаселения, освоения и рационального использования ресурсов земного шара, взаимоотношений между человеком и окружающей средой и др. Эти глобальные проблемы современности свидетельствуют о растущей взаимосвязанности процессов мирового развития, которые в условиях научно-технической революции не могут быть решены при узконациональном и даже региональном подходе и предполагают разработку и принятие мер международного характера. Центральное место среди них занимают демографические, энергетические, экологические и экономические проблемы. Выдвижение их на первый план объясняется рядом причин, в частности возрастающим загрязнением окружающей среды, резким увеличением народонаселения, ростом городов, углублением диспропорций между развитыми и развивающимися странами, угрозой истощения природных ресурсов и т. д. Энергетический кризис, охвативший развитые капиталистические страны в начале 70-х годов и сопровождавшийся экономическим и валютным кризисами, ростом безработицы и инфляции, обострил интерес к проблеме энергетических ресурсов нашей планеты и показал, что человечество не может больше

бездумно и расточительно расходовать эти ресурсы. Поэтому все более и более актуальными проблемами становятся поиск путей рационального использования в глобальных масштабах уже открытых и эксплуатируемых источников энергии, а также разведка и промышленное освоение новых источников энергии.

Предлагаемая вниманию читателей книга американских ученых Говарда и Элизабет Одум и посвящена энергетическим проблемам современности. Подчеркивая решающее значение энергетики, авторы данной книги связывают экономическое и социальное развитие человечества с использованием запасов энергии, сосредоточенной на земном шаре, предлагают альтернативные глобальные модели, позволяющие выяснить перспективы человечества. Имя Говарда Одума, профессора университета во Флориде, достаточно известно среди экологов. Он — автор ряда работ, посвященных структуре и продуктивности различных экосистем, в частности экосистемы в Силвер-Спринг, Флорида, руководитель центра ядерных исследований в Пуэрто-Рико, один из экспертов, привлекавшийся федеральным правительством для решения различных проблем¹. Предложенные им диаграммы энергетических потоков в различных экологических системах широко используются в работах по экологии и биоэнергетике, в частности в переведенных в нашей стране монографиях Ю. Одума и Л. Певзнера².

В этих диаграммах находит свое выражение новый, системный подход к энергетическим проблемам, который позволяет выявить взаимосвязи между различными видами и потоками энергии в природных экологических и в экономических системах. Своеобразие книги Г. и Э. Одум состоит в том, что они пытаются увязать решение энергетических, экономических и экологических проблем, построить экономические модели на базе энергетических моде-

¹ Odum H. T. Efficiencies, size of organisms and community structures. — "Ecology", 37, 1956, p. 592—597; Trophic structure and productivity of Silver Springs, Florida. — "Ecol. monogr.", 1957, 27, p. 55—112; Ecological potential and analogic circuits for the ecosystem. — "Amer. Sci.", 1960, 48, p. 1—8; Energetics of world food production. — "The World Food Problem.", Wash., 1967, vol. 3, p. 55—94; Environment, Power and Society. N. Y., 1971.

² Ю. Одум. Экология. М., 1975, с. 62—65, 110—112, 183—184, 326—327, 377—378, 640; Л. Певзнер. Основы биоэнергетики. М., 1977, с. 237—239.

лей, подойти к анализу экономических проблем, встающих перед высокоразвитыми капиталистическими странами, с точки зрения физического учения об энергии. Переходя от описания энергетических процессов, происходящих в экосистемах, к анализу энергетических систем, созданных человеком, авторы рассматривают историю человеческого общества под углом зрения изменений его энергетического базиса. Если первобытное общество основывалось преимущественно на использовании солнечной энергии, то после промышленной революции человечество стало использовать новые энергетические ресурсы — энергию различных видов минерального топлива. Этот же энергетический подход Г. Одум и Э. Одум применяют и в исследовании международных отношений, войн, различных сфер человеческой жизни. Авторы данной книги претендуют на пересмотр ходячих представлений в экономическом учении и выработку совершенно нового подхода к анализу социально-экономических проблем, при котором все они рассматриваются сквозь призму энергетики.

Насколько же нов энергетический подход к проблемам жизни вообще и экономической жизни в частности?

Если внимательно изучить историю мысли за последнее столетие, то не трудно убедиться в том, что этот подход возник уже в конце прошлого века. Его формирование связано с работами рано умершего украинского марксиста С. А. Подолинского (1850—1891), работы которого, к сожалению, мало известны зарубежным ученым¹. Исходя из марксистского понимания взаимосвязи человека и природы, из определения труда как обмена веществ между природой и человеком, С. А. Подолинский стремится увязать физическое учение об энергии и экономическое учение, рассмотреть развитие человеческого труда и его различные виды (охота, рыболовство, земледелие, добыча полезных ископаемых и др.) с энергетической точки зрения, т. е. с точки зрения сохранения, накопления и расхищения энергии. Разработанный им подход позволил понять негэнтропийную функцию не только растений, фиксирующих и накапливающих превратимую солнечную энергию, но и человеческого труда, приводящего к увеличению производства энергии, к преобразованию солнечной энергии, низкой по своему

¹ С. А. Подолинский. Труд человека и его отношение к распределению энергии. — «Слово», 1880, т. IV—V, с. 135—211.

качеству, в более высокие ее виды. По сути дела, С. А. Подолинский указал на недостаточность второго закона термодинамики, подчеркнув наличие в природе процессов, противоположных рассеянию энергии, — процессов накопления и преобразования солнечной энергии, повышения уровня организации и упорядоченности различных систем. Анализ С. А. Подолинским различных исторических форм техники с точки зрения энергозатрат, энергоемкости, получения полезной энергии позволил ему не только оценить технические достижения прошлого и настоящего, но и определить пути развития наиболее эффективных технических средств, прежде всего гелиотехники. Приложение законов энергетике к изучению экономических явлений дало ему возможность показать роль человеческого труда в увеличении запасов энергии, в расширении запасов продуктов питания и повышении качества солнечной энергии. Поэтому для С. А. Подолинского неприемлемо мальтузианское учение, пессимистически оценивающее перспективы развития «энергетического бюджета» человечества. Подход С. А. Подолинского был для конца прошлого века новаторским. Через шесть лет после выхода статьи С. А. Подолинского Л. Больцман в своей речи, произнесенной на заседании Академии наук в Вене, предлагает термодинамический анализ явлений жизни и обращает внимание на специфические функции растений в энергетических процессах, происходящих на Земле¹. В 1901 г. известный русский физик Н. А. Умов отмечает недостаточность двух законов термодинамики для анализа явлений жизни и выдвигает идею третьего закона термодинамики, фиксирующего специфический характер энергетических процессов явлений жизни². В 1903 г. К. А. Тимирязев в лекции «О космической роли растений» анализирует специфические термодинамические функции хлорофиллового аппарата растений. Эта линия анализа явлений жизни как антиэнтропийных процессов нашла свое дальнейшее развитие в работах ряда советских ученых³.

¹ Л. Больцман. Статьи и речи. М., 1970, с. 17—18.

² Н. А. Умов. Физико-химическая модель живой материи. Собр. соч., т. III. М., 1916, с. 200.

³ Укажем на статью П. Г. Кузнецова «Проблема жизни и второй закон термодинамики» в «Философской энциклопедии», т. 2. М., 1962, с. 133—134; Л. Н. Плюща «Жизнь как борьба с энтропией». — «О сущности жизни». М., 1964, с. 142—156 и др.

Изучение социально-экономических проблем, прежде всего состояния производительных сил, с точки зрения энергетической привело к разработке энергетических показателей и полезных ископаемых, и технологии, и отраслей промышленности. В 1928 г. В. И. Вернадский поставил проблему энергетического выражения естественных производительных сил, их количественного учета с помощью некоторой единицы измерения: «Мы не имеем еще общей единицы для количественного сравнения всех естественных производительных сил, или, вернее, мы не умеем все их свести к этой единой единице, не можем одной единицей, например, выразить добычу металлов и горючего. А между тем необходимо и возможно свести к единой единице все; только при этом условии можно подойти к полному количественному учету той потенциальной энергии страны, которая может дать удобное для жизни представление о пределах заключающегося в данной стране народного богатства. Только при этом условии можно подойти к энергетической картине окружающей человека природы, с точки зрения потребностей его жизни»¹. В статье «О рассеянии химических элементов» В. И. Вернадский обращает внимание на то, что постоянно идущий процесс свободной энергии создает на Земле механизм жизни, основные черты которого только начинают изучаться². В «Очерках геохимии» он подчеркивает, что появление жизни на Земле связано с увеличением активной энергии, накапливаемой биосферой при одной и той же исходной, непрерывной и не увеличивающейся энергии солнца.

В 1935 г. Н. М. Федоровский строит новую классификацию полезных ископаемых, в основу которой положен энергетический принцип. Причем себестоимость различных видов полезных ископаемых исчисляется в условных величинах энергоемкости, аналогичной условным единицам топлива. Тем самым достигается единство в энергетической оценке многообразных технологических процессов добычи и переработки полезных ископаемых, различающихся между собой по затратам энергии³. Работы

¹ В. И. Вернадский. О задачах и организации прикладной научной работы АН СССР. Л., 1928, с. 8.

² В. И. Вернадский. Избранные сочинения, т. 1. М., 1954, с. 526.

³ Н. М. Федоровский. Классификация полезных ископаемых по энергетическим показателям. М.-Л., 1935.

Н. М. Федоровского оказали большое влияние на изучение энергетических соотношений между природными ресурсами и трудом человека, на разработку энергетических принципов в прикладной минералогии.

Этот же подход нашел свое выражение и в исследованиях А. Е. Ферсмана, подчеркнувшего, что «в процессах биогенеза и особенно техногенеза мы подошли к еще более крайним членам ряда, — сложные органические соединения живого вещества оказались с еще большими запасами энергии, и законы энтропии, если не нарушаются, то во всяком случае замедляются процессами жизни»¹. Деятельность живых организмов и тем более человека связана с накоплением энергии, направлена на образование соединений с большим запасом энергии, на сохранение, аккумуляцию и увеличение энергии природы и космоса.

Таковы главные вехи в развитии энергетического подхода к биологическим, биогеохимическим и социально-экономическим проблемам. В результате долгой и упорной работы многих поколений ученых созрел новый перспективный подход, позволяющий связать в одно целое проявления химической, биологической и социальной жизни. И если бы содержание книги Г. Одума и Э. Одум ограничивалось изложением принципов энергетического подхода к экологическим и экономическим проблемам, то уже в этом случае она представляла бы интерес для советского читателя. Но дело не ограничивается только этим. Авторы развертывают свою собственную позицию, отличающуюся от ранее высказывавшихся точек зрения. В чем же она заключается? В чем своеобразие позиции Г. Одума и Э. Одум?

Несомненным достоинством их книги является то, что они показывают всю остроту энергетических проблем, вставших ныне перед человечеством, выявляют многообразные аспекты зависимости экономической деятельности человечества, его социального и культурного развития от использования природных ресурсов, прежде всего энергоресурсов, сосредоточенных на Земле. Свообразие позиций авторов определяется тем, что они являются сторонниками

¹ А. Е. Ферсман. Геохимия, т. III. М., 1937, с. 432. Следует указать также на работу советского биолога Э. Бауэра «Теоретическая биология» (М., 1935) и известного немецкого физика Э. Шредингера «Что такое жизнь с точки зрения физики?» (М., 1947).

концепции «стабильного состояния» экономики. Существо этой концепции заключается в утверждении, что развитие экономики подходит к своему пределу, который определяется рядом факторов, в частности численностью населения, запасами минерального сырья, регенерационными способностями биосферы, природными энергоресурсами, доступными для освоения и эффективного использования в деятельности человека. Достижение этого предела, сроки которого определяются различными сторонниками по-разному (для авторов данной книги — 2000 год), приведет к тому, что дальнейший экономический рост станет невозможным и общество перейдет к новому состоянию — стабильному, постоянному уровню поддержания экономики и обеспечения жизни человека.

В 70-х годах в буржуазной экономической мысли происходит существенный сдвиг и в проблематике, и в методах анализа. Если в первой половине XX в. и особенно в 50—60-х годах основное внимание зарубежных экономистов было сосредоточено на исследовании процессов экономического роста и на построении различных моделей динамического развития экономики, то ныне уже очевиден отказ от этих моделей, утверждение концепции «пределов роста» и построение экономического анализа на базе моделей «равновесия» и «взаимозависимости» различных факторов. Буржуазная экономическая мысль до 70-х годов нашего века ставила во главу угла изучение экономического роста и его стадий. Это относится и к доктрине экономического роста, выдвинутой американским экономистом У. Ростоу, английским экономистом К. Кларком, шведскими экономистами Э. Линдалем и Э. Лундбергом и др. Французский историк П. Жамс, характеризуя этот этап в развитии буржуазной экономической мысли, писал: «После продолжительных усилий, направленных на изучение основ развития динамической экономики в короткие отрезки времени, экономисты подошли к проблемам экономического роста, представляющего собой логическое завершение всякой динамически развивающейся экономики, что поставило их перед необходимостью исследования явлений длительного характера. Это исследование может быть успешным лишь при условии учета структурных изменений и некоторых факторов психологического и институционального характера, что неизбежно приводит к поискам режима, наиболее благоприятного для экономического рос-

та, и к проблеме возможных преобразований капитализма¹.

В 1972 г. выходит книга Д. Х. Медоуза, Д. Л. Медоуз, Й. Рендерса, У. У. Беренса «Пределы роста», в которой излагаются результаты исследований, проведенных специальной группой в Массачусетском технологическом институте (США) и субсидировавшихся т. н. Римским клубом — неформальной международной организацией, объединяющей ученых различных специальностей². Этот год и можно считать годом поворота буржуазной экономической мысли от доктрины экономического роста к концепции «пределов роста». Эта же концепция лежит в основании книги Г. Одум и Э. Одум. Используя методы «системной динамики», разработанные Д. Форрестером, были проанализированы пять главных тенденций, носящих глобальный характер и присущих современному состоянию экономики: рост численности населения во всем мире, способность экономики обеспечить нужды растущего народонаселения, загрязнение окружающей среды побочными продуктами промышленности и сельского хозяйства, истощение невозобновимых природных ресурсов земного шара. В результате этих исследований и моделирования на ЭВМ была выработана концепция «пределов роста» и необходимости перехода к состоянию глобального равновесия. Для этого состояния характерны стабильный уровень численности населения, снижение потребления невозобновимых ресурсов и уровня загрязнения среды, стабильный уровень промышленного производства, рост капиталовложений в сельское хозяйство, особенно в работы, обеспечивающие сохранение и обогащение почв, отказ от некоторых свобод, таких, как свобода иметь неограниченное количество детей или свобода бесконтрольно потреблять невозобновимые ресурсы.

Концепция «пределов роста» вызвала острую дискуссию и критику. В ходе этой дискуссии, в которой приняли участие и советские ученые³, при всем различии в общей

¹ П. Жамс. История экономической мысли XX века. М., 1959, с. 499.

² Meadows D. H., Meadows D. L., Randers J., Behrens W. W. "The Limits to Growth". N. Y., 1972.

³ См.: П. Л. Капица. Глобальные научные проблемы ближайшего будущего. — «Вопросы философии», 1973, № 2; Е. К. Федоров. Экологический кризис и социальный прогресс. М., 1977; Н. Н. Моисеев. Проблемы построения «мировой модели». — Сб.: «Число и мысль». М., 1977 и др.

оценке этой концепции был высказан ряд замечаний относительно принципов, лежащих в ее основе. Одни ученые видели в этой концепции новый вариант идеологии «судного дня», «конца света». Другие — положительно оценивали и саму модель «пределов роста», и предсказания, сделанные на ее основе. Основные замечания, высказанные в ходе дискуссии, отнюдь еще не законченной, можно свести к следующим пунктам. Во-первых, в этой модели мир рассматривается как гомогенная система с полностью преддетерминированным развитием во времени и жестко определенными исходными условиями. Во-вторых, указывалось на слишком ограниченное число переменных. В-третьих, на чрезмерно высокую степень агрегации данных, когда, например, все ресурсы представлены одной переменной. В-четвертых, на недооценку возможностей науки и техники, открытия новых энергоресурсов и новых средств повышения урожайности сельскохозяйственного производства. В-пятых, был подвергнут критике полный отказ от рассмотрения в этой концепции различий в уровне социально-экономического развития регионов и стран, что приводит, в частности, к тому, что не учитывается уровень промышленного и сельскохозяйственного развития различных стран, зависимость демографических процессов от социально-экономических и культурных факторов. В-шестых, были выявлены мальтузианские мотивы в концепции «пределов роста», связанные с программой нулевого роста численности населения, возвращения к примитивным формам социальной организации и т. д.

В 1974 г. выходит книга американских ученых М. Месаровича и Э. Пестеля «Человечество перед выбором», в которой концепция «пределов роста» в ряде пунктов модифицируется и развивается модель «органического роста»¹. Решающей характеристикой этой модели является включение понятия «разнообразия». Мир рассматривается не как глобальная, гомогенная система, а как структурно и функционально дифференцированное целое; в нем выделяется 10 регионов, каждый из которых обладает специфическими особенностями и в социально-экономической структуре, и в уровне промышленного производства, и в уровне

¹ M. Mesarović, E. Pestel. Mankind at the turning point. N. Y., 1974. См. также F. Tinbergen a. o. "Reshaping the International Order", N. Y., 1976; V. Leontieff a. o. The Future of the World Economy. N. Y., 1976.

загрязнения среды и пр. Наряду с различными регионами описываются различные уровни (страты) мировых процессов — геофизический, экологический, технологический, демоэкономический, групповой и индивидуальный уровни. В отличие от прежней модели здесь уже строятся различные варианты «сценариев», т. е. дается описание вероятностного поведения сложных систем, учитывающее его критические точки, где развитие может изменить свое направление, и последствия принятия решений, относящихся к возможным альтернативным ситуациям.

Г. Одум и Э. Одум используют в своей книге основные понятия, предложенные М. Месаровичем и Э. Пестелем, и анализируют увеличение разнообразия элементов системы, различные типы систем и варианты «сценариев» или решений, которые оказывают существенное воздействие на ход мирового развития. Однако выводы их гораздо более пессимистичны, чем выводы защитников теории «органического роста». Можно сказать, что Г. Одум и Э. Одум обращаются к методам и понятиям теории «органического роста» для того, чтобы обосновать концепцию «пределов роста» Д. Л. Медоуза, ищут новые средства для того, чтобы подкрепить вывод о неизбежности перехода к «стабильному состоянию» экономики, об ортогенетическом, т. е. предопределенном, характере развития человечества. Своеобразие позиции авторов данной книги заключается не столько в энергетическом подходе к анализу социально-экономических проблем, сколько в том, что они утверждают, исходя из анализа энергоресурсов планеты и путей их использования человечеством, ограниченность природных ресурсов, возможность их исчерпания и необходимость прекращения роста экономики. Энергетический анализ служит теперь уже не доказательству возможностей дальнейшего развития экономики, обоснованию безграничных возможностей социального и научно-технического прогресса, а утверждению противоположной идеи — идеи пределов роста, пределов, связанных с исчерпанием физических ресурсов нашей планеты.

Особый интерес представляют те понятия, которые вводятся авторами при рассмотрении потоков энергии и ее преобразования. Используя модель «затраты—выпуск», предложенную известным американским экономистом, лауреатом Нобелевской премии В. Леонтьевым, они интерпретируют ее в терминах энергетического подхода. Иными

словами, они говорят не о затратах и выпуске продукции в стоимостном выражении, а о затратах энергии и о получении некоторого количества энергии, исчисляемого в единицах условного топлива. Такой подход позволяет Г. Одуму и Э. Одуму дать количественную оценку различных видов энергии, сопоставить различные отрасли экономики по энергозатратам и по выпуску полезной энергии. Понятие «полезной энергии», или «энергии-нетто», является одним из решающих в книге Г. Одума и Э. Одум. В нем они стремятся выразить энергетический эквивалент эффективности различных видов производства, который характеризует превышение на определенную величину произведенной энергии высокого качества над тем ее количеством, который потребляется в процессе производства.

В отличие от экономистов, сравнивающих денежные затраты с полученной прибылью, авторы данной книги предлагают новую единицу расчета эффективности производства — сравнение энергетических затрат, включая оценку и природных ресурсов, и работы человека, и полученной энергии. «Энергия-нетто», или полезная энергия, есть та величина, которая остается после того, как из всей суммы положительных результатов деятельности и природных, и экономических систем вычитается количество энергии, затраченной на обеспечение этой деятельности. Все расчеты проводятся в единицах условного топлива. Понятие «полезной энергии» тесным образом связано с вводимым авторами третьим законом энергии. Это — закон максимизации эффективности в использовании доступных энергетических ресурсов. Осознавая недостаточность двух законов энергии, хорошо известных даже учащемуся средней школы (закона сохранения энергии и закона деградации энергии), Г. Одум и Э. Одум выдвигают третий закон энергии, характеризующий процессы, противоположные рассеянию энергии, т. е. накопление и преобразование различных по качеству видов энергии. Само по себе подобное нововведение авторов не вызывало бы существенных возражений, если бы оно было достаточно убедительно обосновано и не применялось бы к таким системам и процессам, которые не могут быть описаны с помощью энергетических показателей.

Положив в основу своей концепции понятие «полезной энергии» и закон максимизации использования энергии, Г. Одум и Э. Одум оценивают различные источники энер-

гии и отрасли энергетической промышленности с точки зрения энергозатрат и выхода полезной энергии. Они приходят к выводу о том, что энергетически неэффективно развивать такие отрасли промышленности, как производство минеральных удобрений для сельского хозяйства, сельскохозяйственное машиностроение. По их мнению, следует отказаться от развития гелиотехники, от использования ядерной энергии, от защиты окружающей среды, поскольку-де затраты энергии на строительство этих технических сооружений не окупаются и выигрыша полезной энергии не достигается. Пессимистическая оценка авторами возможностей открытия новых энергетических источников, в частности широкого использования в будущем ядерной энергии, не подкреплена никакими количественными данными относительно затрат и получения дополнительной энергии. Г. Одум и Э. Одум понимают, что дальнейшее развитие ядерной энергетики и открытие новых источников энергии может существенно поколебать их концепцию «пределов роста». Предложенная ими модель «устойчивого состояния», по сути дела, основывается на ныне используемых энергетических ресурсах и вообще не учитывает возможность более широкого использования ядерной энергии и открытия принципиально новых способов получения энергии. Следует сказать, что, помимо новых возможностей получения энергии, которые могут быть открыты современной наукой, существует еще один путь повышения энергообеспеченности человека — повышение эффективности получения, преобразования и использования энергии¹. Кажется, авторы данной книги говорят именно об этом. Однако в действительности они говорят о максимизации использования энергии только в земледелии, причем земледелии, в котором уменьшается число применяемых машин и удобрений, но зато увеличивается доля ручного труда.

Достижение обществом устойчивого состояния связывается авторами с отказом от многих достижений современной цивилизации — вытеснением больших социальных

¹ Так, получение электроэнергии на тепловых электростанциях связано с потерями не менее 70% химической энергии, содержащейся в топливе. Велики потери при передаче и использовании энергии. Весьма низок к.п.д. двигателей внутреннего сгорания. Использование сверхпроводимости приведет к снижению потерь энергии. Применение магнитодинамических генераторов энергии, имеющих к.п.д. 50—60%, резко снизит нерациональные затраты энергии.

институтов и заменой их неформальными социальными группами, уменьшением численности населения, сокращением расходов на транспорт и на медицинское обслуживание, прекращением строительства крупных электростанций и городов и пр.

Рассматривая все социальные и экономические проблемы как энергетические, авторы книги, заверяя вначале в необходимости системного подхода к решению этих проблем и учета «разнообразия» элементов в системе, в конечном счете приходят к энергетическому редукционизму, т. е. к сведению всех проблем к энергетическим. Односторонность этой позиции становится заметной в тех главах, где речь идет о международных отношениях, о проблемах войны и мира, о путях развития человечества. Наивными и до крайности вульгарными выглядят их рассуждения о взаимосвязи свободы воли и законов энергии (стр. 306), их энергетическая оценка эмоций человека и произведений искусства (стр. 308—309). Однако дело не сводится лишь к упрощенности схем, применяемым авторами к явлениям, в которых энергетические параметры не играют решающей роли. Защищая позиции «энергетического редукционизма», авторы обходят ряд трудностей, неизбежно встающих при энергетическом анализе форм труда и различных отраслей промышленности. Эти трудности в свое время были отмечены Ф. Энгельсом в его отзыве о работах С. А. Подолинского. В письме к К. Марксу Ф. Энгельс писал, что энергетический расчет становится сложным уже при анализе скотоводства. «Еще более сложен он в земледелии, где в него входит также и энергия, заключающаяся в вспомогательных материалах, удобрениях и т. д. В промышленности такого рода подсчеты совсем невозможны: труд, присоединенный к продукту, большей частью вовсе нельзя выразить в единицах тепла... По моему мнению, совершенно невозможно выразить экономические отношения в физических мерах»¹.

Между тем основная посылка Г. Одума и Э. Одум состоит в том, чтобы выразить если не экономические отношения, то производительные силы в энергетических единицах, в физических мерах. Причем трудности, возникающие при таком анализе, вообще ими игнорируются, а тем самым упускаются из виду границы приложимости

¹ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 35, стр. 110.



методов и понятий физического учения об энергии к другим областям. Иными словами, энергетический подход ими абсолютизируется и применяется при анализе тех сфер жизни человека, которые вообще не поддаются энергетическому измерению. Можно сказать, что энергетизм авторов данной книги является еще одним вариантом физикалистской интерпретации экономики, при которой универсализируются понятия и способы объяснения, развитые в физике.

Основным фактором, лимитирующим дальнейший рост экономики, авторы считают исчерпание мировых энергоресурсов. Для того чтобы выяснить обоснованность их позиции, следует более обстоятельно разобраться в этом вопросе. Действительно, в последние десятилетия эксплуатация топливно-энергетических ресурсов идет невиданными темпами. За семьдесят лет с начала нашего столетия в капиталистических и развивающихся странах объем добычи нефти возрос с 10 до 1800 млн. т., т. е. в 180 раз, газа с 5 до 700 млрд. куб. м., т. е. в 140 раз (в ближайшее время удвоится), угля с 0,7 до 1,26 млрд. т., т. е. в 1,8 раза. По некоторым расчетам, до 2000 года будут исчерпаны открытые месторождения молибдена, меди, сурьмы, золота и могут быть выработаны известные к 70-м годам ресурсы нефти и газа, вольфрама, свинца, олова, асбеста. Уже сейчас запасы нефти, природного газа не обеспечивают в достаточной мере поставок. Вместе с тем уже сейчас разведаны промышленные запасы ряда полезных ископаемых (в частности, угля, фосфоритов), которые обеспечивают удовлетворение спроса на период, значительно превышающий 25 лет. Итак, опасность истощения природных ресурсов, в том числе мировых запасов энергоресурсов, вполне реальна¹.

Но является ли она решающей причиной энергетического кризиса, разразившегося в последние годы в капиталистическом мире? Авторы книги усматривают исток энер-

¹ Следует учитывать возможность ошибок при оценке природных ресурсов и прогнозировании времени их исчерпания. Известен прогноз, сделанный американскими учеными У. и Е. Войтинскими, согласно которому запасов нефти при сохранении уровня потребления 1948 г. хватит лишь до 1972 г. Открытие новых месторождений нефти продемонстрировало ошибочность этого прогноза. Об ошибках в прогнозировании и их причинах см.: Э. Янч. Прогнозирование научно-технического прогресса, М., 1970, с. 156-169.

гетического и валютного кризиса именно в этом, а не в кризисных явлениях во взаимоотношениях капиталистических и развивающихся — прежде всего арабских — стран. Обретя национальную независимость и экономическую самостоятельность, эти страны начали добиваться более справедливого соотношения между ценами на нефть и стоимостью импортируемой из развитых стран промышленной продукции. Неравноправные экономические отношения между этими странами приводили к тому, что крупные национальные и международные монополии искусственно занижали цены на нефть. Повышение цен на нефть повлекло за собой взвинчивание розничных цен на нефтепродукты со стороны этих монополий. Рост денежных затрат США на закупку нефти (в 1973 г. — 7,4 млрд. долл., в 1974 г. — 25,2 млрд. долл.) сопровождался не расширением, а сокращением ее добычи внутри страны. Так, в 1972 г. в США было добыто 467 млн. т. нефти, в 1973 г. — 453 млн. т., в 1974 г. только 433 млн. т. «Энергетический кризис» порожден не только вынужденным приспособлением капиталистической экономики к новой ситуации, когда развивающиеся страны перестали быть поставщиками дешевого энергетического сырья, но и конфликтом между общественным характером производства и потреблением энергии и частными интересами мощных национальных и межнациональных монополий.

Мы уже говорили о том, что Г. Одум и Э. Одум считают перенатабельным и энергетически неэффективным развитие ядерной энергетики. Выступая против широкого использования атомной энергии в мирных целях и перевода всей энергетической базы промышленности на ядерное топливо, они, по сути дела, стремятся сохранить существующую ныне структуру топливно-энергетической промышленности. Известно, что 95% ныне получаемой энергии вырабатывается за счет ископаемого горючего (нефти, газа, угля), 1—2% за счет атомного горючего, 4—3% за счет использования энергии речного стока. В США сейчас работает 59 ядерных реакторов, они производят 4% всей потребляемой электроэнергии. На развитие ядерной энергетики в США расходуется 2,2 млрд. долл. Это составляет 40% всех расходов на развитие энергетики. В то же время весь бюджет исследований и разработок в различных отраслях неядерной энергетики составляет 700—800 млн. долл.

Переход всей энергетики на ядерное топливо связан с рядом трудностей. Основная из них заключается в накоплении радиоактивных веществ, которые при аварии могут вызвать радиоактивное заражение. Ком плутония, получаемого в реакторах с быстрыми нейтронами («бридерах»), величиной в теннисный мяч достаточен для того, чтобы убить все живое на Земле. Десять миллионных грамма его вполне достаточно для того, чтобы получить рак легких.

Вторая трудность на пути развития ядерной энергетики — захоронение радиоактивных шлаков. Около 5% контейнеров с радиоактивными отходами сохраняют герметичность только в течение 20 лет, между тем как период распада некоторых радиоактивных веществ продолжается до 600 лет и более. Ни один из известных ныне способов хранения радиоактивных отходов не исключает их проникновения в окружающую среду. Рост количества радиоактивных отходов при переходе к ядерной энергетике обостряет эту трудность. Поэтому денежные и энергетические затраты, связанные с предотвращением аварий на АЭС, осуществлением контроля за их работой, с захоронением радиоактивных отходов, велики и, очевидно, будут не уменьшаться, а увеличиваться.

Означает ли это, что не надо развивать ядерную энергетику? Нет, развитие ядерной энергетики является основным путем решения энергетических проблем. Дело в том, что эффективное использование энергии предполагает большую плотность потоков энергии. Солнечная энергия такой плотностью не обладает. Это энергия малой концентрации, низкого качества. Использование солнечной энергии, геотермального тепла, гидроэнергии, конечно, должно стать более рентабельным. Использование этих видов энергии может стать эффективным средством решения энергетических проблем, возникающих в коммунальном и бытовом хозяйстве. Однако обеспечить функционирование и тем более развитие решающих отраслей производства эти энергоисточники не в состоянии. Использование этих источников энергии не может помочь в преодолении надвигающегося энергетического кризиса. Отвечая тем критикам ядерной энергетики, которые видят в ней сделку с дьяволом, акад. П. Л. Капица заметил: «Если бы этот энергетический кризис начал возникать 40 лет назад, до открытия ядерной энергии, то человечество, несомненно,

стояло бы перед катастрофой, а человеческая культура зашла бы в тупик. Но в наше время можно с полной уверенностью утверждать, что источники ядерной энергии дают научно обоснованную возможность решить надвигающийся энергетический кризис»¹.

При анализе путей решения энергетических проблем современности необходимо учесть и сложившуюся в наши дни структуру потребления энергии в различных отраслях промышленности. Этот же фактор вообще не учитывается авторами данной книги. Такого рода анализ показывает, что рост энергозатрат и расходов электроэнергии в производстве связан не столько с увеличением выпуска промышленной продукции, сколько с созданием и распространением новых энергоемких продуктов. Структура современного промышленного производства в США приводит к тому, что главными потребителями энергии оказываются несколько отраслей с низкой производительностью энергии. 75% роста потребления энергии с 1947 по 1967 г. приходится на группу отраслей промышленности с низким уровнем эффективности использования энергии (производство первичных металлов, бумаги, нефтеперерабатывающая промышленность и др.), а стоимость производимых в них товаров составляет только 27% общей стоимости товаров. Группа отраслей промышленности со средним показателем эффективности использования энергии (машиностроительная промышленность, производство электрооборудования, транспортных средств) расходует 22% всей произведенной в общенациональных масштабах энергии и дает 48% общей стоимости производимых товаров. Доля группы отраслей промышленности с высоким показателем эффективности использования энергии (инструментальная и полиграфическая промышленности) в общем потреблении энергии составляет 4%, стоимость же произведенных здесь товаров — 12%. Эти расчеты, произведенные американским экономистом и экологом Б. Коммонером², показывают, что быстрый рост потребления энергии в промышленности отнюдь не связан непосредственно с аналогичным ростом производства продукции. Поэтому исходный тезис авторов книги о том, что экономический рост всегда

¹ П. Л. Капица. Глобальные проблемы и энергия. — «Успехи физических наук», 1977, т. 12, вып. 2, с. 331—332.

² Б. Коммонер. Технология прибыли. М., 1976, с. 23—24.

предполагает рост потребления энергии, представляется чрезмерно прямолинейным и не учитывающим те сложные взаимозависимости, которые существуют в современной экономике.

Более того, зависимость между затратами энергии и экономическим ростом весьма специфична не только между различными отраслями производства, но и внутри одной отрасли. Так, соотношение между производительностью энергии и величиной ее расходования различно в металлургии. Эффективность использования энергии в производстве стали выше, чем в производстве алюминия, в 15 раз. Доля отраслей промышленности с низкой эффективностью использования энергии в общем ее потреблении намного превышает отрасли с высокой эффективностью. Эти данные свидетельствуют о том, что экономия в промышленном потреблении энергии и максимизация эффективности использования энергии может быть достигнута не на пути разрушения всей экономической и технико-промышленной структуры современного общества и возвращения к патриархальным способам производства (к чему, по сути дела, сводятся призывы сторонников концепции «пределов роста»), а на пути изменения тех тенденций в экономике, которые сложились в послевоенный период, осознания определенных технологических просчетов и избавления от них.

Человечество сейчас стоит перед выбором: либо сокращение производства энергии, либо повышение эффективности ее использования. Первый путь разрушителен для нынешних и будущих поколений. Уже сто лет тому назад С. А. Подолинский подчеркнул, что только общество с стремлением к быстрому накоплению энергии может быстро идти вперед. Застой в данном случае почти равносителен рассеянию накопленной энергии, так как общественная жизнь без развития теряет всякую цену и всякий смысл существования.

Второй путь, о котором говорят и авторы данной книги, определяется тем, что потребность в энергии обусловлена особенностями ее использования. Выбор этого пути связан не только с поиском максимально эффективных способов использования энергии, но и с существенными изменениями способа производства, распределения национального дохода, социальных отношений и ценностей культуры. Г. Одум и Э. Одум неоднократно говорят (см. стр. 87, 360)

о неспособности капитализма продолжать свое развитие и существование в условиях, когда необходимо сокращать потребление энергетических ресурсов, о неадекватности основных ценностей буржуазной цивилизации новым историческим условиям, хотя в ряде мест, в частности при сравнении экономического развития капиталистических и социалистических стран (стр. 305), чувствуются их предубеждения относительно социализма. Этим, очевидно, объясняются их рассуждения о меньшей гибкости плановой социалистической экономики, о незначительных темпах ее роста, о меньших возможностях, предоставляемых человеку в странах социализма.

Решение энергетических проблем является крупнейшей социальной и научной задачей всего человечества. Поиски путей рационального использования природных ресурсов в интересах всего человечества превращаются ныне в одну из важнейших сфер международного сотрудничества. Ныне созданы специальные международные организации, способствующие решению глобальных проблем, предлагаются различные меры международного контроля по эксплуатации мирового океана, добыче сырья из его недр и пр. В рамках ООН созданы специализированные комитеты, в частности в 1972 г. новое агентство по охране окружающей среды. Взаимозависимость различных стран в отношении источников и запасов энергии ни у кого в наше время не вызывает сомнений. Несомненным является и то, что решение глобальных проблем следует искать в международном масштабе. Осуществление необходимых решений уже сейчас сталкивается и будет сталкиваться и в дальнейшем с интересами отдельных государств, которые могут противоречить интересам человечества в целом.

Хотя авторы данной книги и признают факт взаимосвязи различных стран в использовании энергоресурсов и даже критикуют правительственную программу независимости от внешних источников энергии, однако движущим мотивом всех их рассуждений о международных отношениях является защита интересов США. Поэтому они делают основной упор на энергетических запросах, тенденциях и перспективах развития энергетической промышленности США, рассматривая интересы и проблемы остальных стран мира исключительно под этим углом зрения. Это находит свое выражение уже в том, что они обсуждают возможность военной интервенции в нефтедобывающие страны,

предлагают сократить импорт нефти из этих стран и экспорт из США пищевых продуктов и др. Г. Одум и Э. Одум выступают с программой, игнорирующей международное сотрудничество в решении энергетических проблем. Для них не приемлемо создание каких-либо международных организаций, даже ООН, оказание помощи (продовольствием, медикаментами и др.) другим странам (стр. 370). Циничные, бесчеловечные предложения, высказываемые ими в гл. 16, о необходимости прекращения всякой помощи другим странам объясняются их пессимистической оценкой будущего человечества. Они, по сути дела, проводят тезис о том, что каждая страна должна искать свои собственные пути решения энергетических проблем. Такая установка, ведущая к автаркии экономики, к изоляции стран, может стать лишь помехой для решения глобальных проблем современности.

Неприятие авторами книги любых форм международного сотрудничества объясняется в том числе и тем, что они без каких-либо веских оснований экстраполируют принцип выживания наиболее приспособленных к экосистеме организмов из биологии в социологию и экономическое учение. Включение этого принципа, развитого Ч. Дарвином в теории эволюции, в экономический анализ приводит авторов к неомальтузианским выводам, к отрицанию ими необходимости дальнейшего совершенствования и развития сферы медицинского обслуживания населения и социального обеспечения.

Изоляционистская позиция авторов книги влечет за собой определенные антигуманные выводы, в частности защиту ими тезиса о необходимости жесткого ограничения свобод и прав личности во имя эффективного использования энергии. Конечно, роль этических норм и обязательств личности перед обществом возрастает в эпоху обострения энергетических проблем, но это отнюдь не означает «тотального» подавления прав личности во имя выживания государства и капиталистической экономики.

Все эти недостатки, неправомерные экстраполяции и ошибки, на которых мы и стремились прежде всего остановиться в данном предисловии, объясняются мировоззренческой и методологической позицией Г. Одума и Э. Одум. При всей ограниченности их позиции издание этой книги будет полезно советскому читателю. Во-первых, это позволит ему ознакомиться с достаточно полным изложением

концепции «устойчивого состояния», столь популярной в современной буржуазной экономической мысли. Во-вторых, небезынтересны и те новые методы анализа, которые предлагаются авторами книги и которые свидетельствуют о возникновении нового подхода, объединяющего экологические, экономические и энергетические понятия в одно целое. Совершенствование методов планирования и управления социалистической экономики предполагает разработку и применение широкого комплекса методов (математических, эконометрических, статистических и пр.). Предлагаемые авторами книги методы анализа с помощью расчета полезной энергии, энергозатрат и получения энергии могут найти свое, вполне определенное место во всем арсенале методов, применяемых советскими экономистами.

А. П. Огурцов

ВВЕДЕНИЕ

Энергия — всеобщая основа, источник и средство управления всеми природными процессами, базис культуры и всей деятельности человека. Эту простую истину, давно известную ученым и инженерам, обычно упускают из виду авторы большинства современных учебных курсов. Если источники энергии обильны, то экономика развивается, обогащаются наши знания о мире, растут притязания людей; если эксплуатация источников энергии происходит с той же интенсивностью, с какой на Земле обнаруживаются новые энергетические источники, то формируется устойчивая модель человеческой активности, ценностей и притязаний людей. Так было всегда в истории человечества и природы.

Лишь обнаружив новые мощные источники энергии, люди испытывают чувство свободы и способны осуществить свои замыслы. Но такая свобода недолговечна. Конкуренция ограничивает возможность выбора. Американцы, как и весь мир, из века изобилия энергии и больших возможностей свободы выбора вступают в век ограниченных ресурсов энергии.

Между периодом стабильной экономики и периодом роста существуют большие различия в человеческих ценностях и методах производства. Переход от периода роста экономики к ее стабилизации может быть осуществлен плавно и планомерно, так, что каждый человек сможет приспособиться к новым условиям, или же этот переход будет резким, беспорядочным и угрожающим катастрофой,

ибо приведет к безработице, голоду, эпидемиям и войнам.

Тема этой книги — роль энергии в управлении нашей жизнью, экономикой, международными отношениями, нормами жизни и ценностями культуры. Чтобы осознать эту роль энергии, необходимо, во-первых, понять человечество как часть природы. Во-вторых, иметь представление о современном системном подходе; для этого мы будем использовать язык простых системных диаграмм, который позволяет объяснить многие процессы исходя из изменений в энергетическом базисе. В-третьих, следует освободиться от предвзятости в оценке того, какие тенденции действительно существуют и какие из них можно оценивать положительно.

Содержание выдвигаемых в наши дни прогнозов о будущем развитии человечества определяется законами энергии. В той мере, в какой изменяются модели использования энергии, изменяются и социальные роли определенных групп населения.

По ком звонит колокол

Обращаясь к представителям разных групп общества, мы рассчитываем на особый эффект нашей работы в каждом отдельном случае.

Неискушенный студент может усвоить реалистическую точку зрения и начать сомневаться в обоснованности определенных знаний, полученных ранее, задавшись вопросами: «Эффективно ли использует энергию человек в своей деятельности?» Иными словами, является ли его деятельность энергетически эффективной?

Преподаватели должны на всех уровнях обучения подчеркивать первостепенное значение законов энергии: законы энергии — движущая сила всего мироздания. В каждой области, в каждой форме деятельности, на каждом занятии энергоэффективность должна быть отчетливо осознана. Роль энергии следует раскрывать не только в специализированных курсах физики или химии; ее законы должны стать фундаментом всего обучения — от детского сада до высшей школы.

Руководителям университетов следует задаться вопросом, соответствуют ли учебные программы реальному процессу взаимодействия человека с природой или же они лишь описывают и сохраняют сложившееся положение

дел. В будущем ресурсы для хранения и распространения знаний будут еще более ограничены. Поскольку мы вынуждены будем хранить и использовать меньший объем информации, уже сейчас необходимо сделать решительный выбор. Администратору важно решить, что является необходимым, и сохранять отобранное с меньшими затратами.

Любой гражданин должен требовать от правительства своей страны, чтобы каждый проект был обоснован с точки зрения его энергетической эффективности. Эта эффективность должна включать и стоимость затрачиваемой энергии. Но не следует считать деньги единственным критерием, а энергетический анализ — уделом специалистов, которые отнюдь не озабочены воздействием энергии на экологию в целом.

Те, кто видит в энергии лишь один из товаров, существующий изолированно от материи, информации, произведений искусства и человеческого духа, должны понять, что во всем есть компонент энергии. Чем менее «осязима» и более значима та или иная культурная ценность, тем большее количество энергии вложено в нее. И чем «неосязимей» она, тем больше ценность утрачиваемой энергии при исчезновении первой. Тот, кто думает, что энергетический детерминизм является неопределенной, недоказанной теорией, должен научиться более глубокому пониманию и рассмотрению сути вещей. Каждый день мы узнаем из газет о воздействии энергетических изменений, видим, как модель непрерывного роста человечества заменяется моделью пределов роста. Эти изменения могут приблизить нас к цели — найти пути управления циклами биосферы. Политик должен помочь избирателям усвоить то, чему он научился, чтобы перед лицом новой реальности применить установки, которые воспитывались в людях в эпоху избытка энергии.

Экологам необходимо научиться описывать окружающую среду и проекты, связанные с ее изменениями, в понятиях энергоэффективности. Защита окружающей среды должна быть направлена на обеспечение взаимосвязи человека и природы, а не приводить к конкуренции между ними, в которой расточаются капиталы и теряются все шансы восстановления этой взаимосвязи.

Руководители, которые во имя защиты окружающей среды предусматривают ненужные затраты энергии на постройку градирен, использование различных технических

устройств в сельском хозяйстве и обработке сточных вод, должны приобрести более ясное понимание взаимосвязи человека и природы. Например, большая часть устройств, направленных на поглощение тепла и обработку отходов, не нужна, поскольку определенное количество тепла и отбросов производства является ресурсами биосферы (конечно, не в слишком большой концентрации). Основная проблема, которую надлежит решать руководителям, — чрезмерно высокая плотность населения. Необходимо найти критерии для выживания в мире, где идет борьба за энергию; подготовить проекты уменьшения плотности активного населения в городах.

Физики, которые считают себя основными авторитетами в вопросах энергии, должны изменить свои взгляды. Они должны понять роль энергии в экологических системах. Комплексный подход к энергетическим проблемам решительно отличается от одностороннего. Физик-ядерщик должен считаться с тем, что такой источник громадной энергии, как, например, водородная бомба, вполне совместимый с грандиозными масштабами Вселенной, может оказаться чрезмерным для производства полезной энергии в земных условиях. Значительный объем энергии должен быть затрачен при этом непроизводительно, для того лишь, чтобы снизить температуру до необходимого уровня.

Биологи, использующие энергетические показатели при анализе биологических процессов, должны понять, что калориметры не применимы для измерения энергии высшего качества.

Геологи должны перестать переоценивать топливные ресурсы Земли и использовать одни и те же критерии при оценке легкодоступных запасов нефти и ее запасов на глубине 4 миль и в 20 милях от берега. Им следует исходить из понятия полезной энергии и считаться с затратами высококачественной энергии при производстве стальных конструкций, необходимых для нефтяных разработок, а также при подготовке инженерных кадров.

Ученым, специализирующимся в фундаментальных науках и сводящим свои задачи лишь к анализу проблем, необходимо понять, что синтез столь же необходим для изучения целостности систем. Ученый, который считает, что синтез является «прикладным» (как будто это неполноценная деятельность), должен спросить себя, какая из позиций является более сложной и в конечном счете более

фундаментальной — «редукционизм» или «синтетизм». Конечно, оба вида деятельности необходимы, но сейчас нам не хватает именно синтеза, и поэтому наши учебные программы не были в состоянии обеспечить данный синтез.

Ученый, специализирующийся в определенной научной области и узнающий все больше и больше о меньшем и меньшем, должен найти способ увязать свою специальность с реальным миром. Тот, кто ограничивает сферу своих интересов, ограничивает развитие своих способностей. Существующие научные дисциплины достигли предела своего развития; отныне прирост знаний должен осуществляться иными путями, а новые дисциплины следует называть иначе. Новые научные дисциплины необходимо проанализировать для того, чтобы четко представлять, что же они могут дать.

Инженеры должны использовать имеющиеся в их распоряжении методы для измерения и оценки энергетических систем в более широком их понимании, включать в свои расчеты человека и природу. Им следует осознать, что большинство технологических достижений экономики эпохи роста основано на применении скрытых, косвенных или дополнительных форм энергии. Поскольку таких форм энергии становится все меньше, от многих технологических достижений придется отказаться. Продвижение вперед, как уже неоднократно бывало, оказывается весьма расточительным. Ориентация на рост должна быть отброшена. Эффективность должна рассчитываться как отношение энергии, воплощенной в продукции, ко всем затратам энергии, включая окончательную энергетическую ценность купленных товаров и услуг. Инженеры должны усвоить, что энергия различна по своему качеству. Следует выработать единую базу измерения различных видов энергии, которая выделяла бы факторы качества, определяющие их реальную ценность с точки зрения поддержания определенного уровня экономики и расходования природных ресурсов.

Экономист должен знать, как функционируют энергетические источники. Он называет запасы энергии внешними и зачастую даже не знает, что ее потоки контролируют экономику и что их нельзя игнорировать. Еще совсем недавно экономисты предлагали стимулировать экономический рост посредством манипуляций в сфере денежного обращения. Однако подобные операции эффективны лишь при наличии больших неиспользованных энергетических

ресурсов. Теперь же производительность уменьшается, так как уменьшается количество энергии, и манипуляции в сфере денежного обращения дают малый эффект. Им также следует понять решающее значение энергетических законов.

Тот, кто полагает, что повышение цен избавит нас от всех бед, должен понять, что повышение стоимости освоения энергетических ресурсов влечет за собой повышение всех экономических затрат. Все это ведет к уменьшению количества энергии для других сфер потребления и к общему спаду. Рост издержек, связанных с разведкой и освоением энергетических источников, влечет за собой понижение уровня жизни и количества энергии, используемой каждым человеком. В конечном счете все цены определяются энергией.

Состоятельные люди, все еще располагающие излишком денег, которые можно вложить в нововведения, должны прекратить финансовую поддержку экономического роста, перестать ориентироваться на удовлетворение своих собственных прихотей и осознать, что капиталы весьма и весьма преходящи. Их целесообразнее использовать для планирования стабильного состояния¹. В условиях экономической системы с уменьшающимися ресурсами энергии деньги не производят новые деньги, они обесцениваются из-за инфляции. Богачи должны быть готовы к тому, что их статус изменится и они сольются с лицами, обладающими средними доходами.

Оптимисты из сферы торговли, пропагандирующие тезис «рост или смерть», должны знать о существовании устойчивых экосистем, которые бесперебойно функционировали в течение 100 миллионов лет. Им следует понять, что роль модели роста нередко состоит в подготовке системы к стабильному состоянию.

Менеджеры сферы распределения, представленной большими универсами и сетью различных магазинов, должны ожидать уменьшения масштабов своей деятельности. Вновь появятся местные конкуренты. Магазины, скорее всего, будут размещены в местных, а не в областных центрах, ибо уменьшится количество энергии, необходимое для перевозок.

¹ Утопичность этих предложений очевидна. О мировоззренческой позиции авторов см. более подробно предисловие. — *Прим. ред.*

Тому, кто занимается перевозками, должно стать ясно, что потребности в транспортировке уменьшатся. При принятии решения о ремонте критерием должна быть энергоэффективность для общества в целом. Скорости передвижения должны быть снижены, что повлечет за собой исчезновение большого числа скоростных средств передвижения, весьма дорогих с точки зрения энергетической.

Организаторы воздушного транспорта должны понять, что крайне высокая энергетическая стоимость полета указывает пределы воздушных перевозок. Большие скорости перелетов оправданы лишь там, где высока энергоэффективность перевозок. Это предполагает сокращение числа воздушных путешествий, использование самолетов меньших размеров, развивающих меньшую скорость, значительное уменьшение числа международных перелетов, за исключением полетов в районы, богатые энергией, или вылета из них.

Работникам лесной и бумажной промышленности важно осознать, что низкоэнергетические системы не способны обеспечить поддержание современного уровня производства информации. Лес станут использовать в гораздо большей степени в строительстве и в меньшей — для производства бумаги; некоторые лесные массивы будут превращены в угодья, пригодные для сельскохозяйственного производства. Труд по освоению лесных массивов постепенно будет менее механизированным; повысится интенсивность труда по управлению и поддержанию экосистем.

Люди, занятые организацией рекламы, должны понять, что сократится потребность в информации, направленной на обеспечение экономического роста. Вместо этого им следует готовить переход к стабильному состоянию экономики. Одни из них будут вынуждены искать новую работу, другие — переориентироваться для пропаганды новой цели — устойчивости системы.

Те, кто занимается землеустройством, должны понять, что оценка земли под углом зрения развития городов и близости к туристическим местам будет заменена оценкой ее пригодности для сельского хозяйства. Ценность земли, используемой в сельском хозяйстве, основанном на использовании солнечной энергии, в лесном хозяйстве и для туризма с низкими энергетическими затратами, возрастет. Земля будет нужна для осуществления целей, реализация которых предполагает интенсивный труд.

Мэры городов, решая свои проблемы, должны планировать максимальное использование существующих зданий в центре города для обеспечения определенного уровня деловой активности, не допуская нового городского строительства, весьма дорогого в энергетическом отношении. Города могут быть реорганизованы в небольшие центры, центр городской агломерации вновь заселяется людьми, но с меньшей плотностью. Дорогие операции, такие, как уборка мусора, которые сейчас осуществляются машинами, снова будут производиться вручную. Они могут стать занятием лиц с более низкой оплатой — молодежи и пенсионеров.

Архитекторы должны отбросить представление о самих себе как о художниках, людях с развитым воображением, не обращающих внимания на энергоинтенсивность своей деятельности. Максимально будут использоваться старые здания. Ремонт исключит замену новым. Возведение зданий и создание ландшафтов должны проводиться с максимальным использованием естественной среды так, чтобы замена отдельных частей не была связана с восстановлением целых районов. От районирования следует отказаться — разнообразие в эпоху стабильности заменит собой однообразие «растущих и умирающих» районов. От кондиционирования воздуха следует отказаться. Эра «искусства в бетоне» завершается.

Профсоюзы должны перестать бороться за повышение зарплат, ибо их требования могут быть осуществлены лишь в результате сокращения зарплат каждого человека. Профсоюзы могут сыграть большую роль в адаптации людей к новой системе. Безработные будут нуждаться в совете и поддержке при профессиональной переподготовке. В низкоэнергетических видах труда, таких, как сельскохозяйственный труд, будет меньше нужды в машинах и больше — в людях¹.

Занятые в сельском хозяйстве должны признать, что поступление энергии в эту отрасль экономики за последние два века уменьшилось. Следует увеличить площади сельскохозяйственных угодий, объем трудовых затрат и шире привлекать жителей пригородов для работы на фермах, а

¹ Это заявление, ведущее к техническому разоружению сельского хозяйства ради возрождения низкоэнергетических методов его ведения, связано с общей пессимистической позицией авторов. О ней более подробно см. предисловие. — *Прим. ред.*

не в городе. «Агробизнес» будет замещен «агрочеловечеством». Возрастет значение факторов, естественных для экосистемы, таких, как биологический контроль, например птиц, за численностью насекомых. Севооборот заменит применение химических удобрений и машин. Безработица в промышленности в конечном счете вынудит мигрировать рабочую силу в сельское хозяйство. Этот переход нуждается в планировании. Продукты сельского хозяйства будут продавать на меньшей территории. В будущем уменьшится значение международного обмена и региональной специализации, но сохранятся локальные различия. Тем, кто свылся с экономикой роста и забыл, как вести хозяйство, не прибегая к ядохимикатам, следует вновь сесть за парту, а в сельскохозяйственных училищах необходимо восстановить курсы хозяйствования на основе меньших затрат энергии.

Основные принципы

Обилие общих призывов в предыдущем параграфе объясняется тем, что мы стремились настроить читателя на восприятие энергетических диаграмм, которые мы ему предложим, и на иллюстрируемые ими законы. Но читатель не должен быть недоверчив настолько, чтобы упустить возможность понять новую систему. Не будет большой пользы в том, если вы, с опозданием на пять лет, признаете роль законов энергии, которые могли бы направить вас по верному пути; нужный момент может быть упущен.

Эта книга начинается с изложения энергетических принципов, показывает, как формируются и изменяются системы человеческих групп и природы, анализирует различные примеры из области экологических систем и истории, способы предсказания будущего исходя из основных энергетических законов. С помощью этих методов было безошибочно предсказано наступление недавнего экономического спада. Эти методы могут применяться в прогнозировании.

Прежде чем более детально рассматривать энергетический и системный подходы, кратко укажем их основные идеи. Наш лекционный и преподавательский опыт показывает, что большинство американцев сначала не понимает, не понимает и не допускает мысли о том, что реальным механизмом контроля всех систем является энергия.

Для того чтобы понять реальное положение дел, необходимы диаграммы; но люди не будут тратить время на расшифровку диаграмм до тех пор, пока не убедятся в их важности. Мы надеемся, что данное введение даст читателю общее представление об энергии, прежде чем мы перейдем к деталям. Усвоив это общее представление, мы шаг за шагом, на фактах развернем его, используя язык науки, инженерного дела, экологии и экономики.

В последующих главах читатель ознакомится с тремя энергетическими законами: сохранения энергии, необходимого понижения качества энергии и максимизации эффективности использования энергетических источников. На основе этих законов мы построим общую модель превращения энергии. Эта модель включает в себя производство определенного количества энергии высокого качества, ее сохранение в богатстве общества и использование энергии различного качества как механизма обратной связи, для того чтобы увеличить получение энергии. Вид энергии, имеющейся в том или ином регионе, обуславливает особенности развития этого региона и формы деятельности, наиболее распространенные в нем. Энергоресурсы обеспечивают контроль за деятельностью природы и человека в этом регионе. В зависимости от этих энергетических ресурсов могущество человека проходит различные этапы: безудержный рост на первых порах, переход от роста к кризису, а затем к стабильности. Переход от роста к стабильности определяется способами использования энергетических ресурсов. Мы можем построить модель этого перехода, используя язык символов, предложенных в этой книге. Временной график воздействия энергетических ресурсов может быть построен с помощью ЭВМ, используя математические уравнения, соответствующие диаграммам (см. с. 374).

При невозобновимых потоках или ресурсах энергии денежные активы направляются на ускорение темпов роста. Если поток энергии возобновляется и постоянен, система обретает устойчивую структуру. Если система начинает функционировать, располагая определенным количеством возобновляемой постоянной энергии и невозобновимых энергетических ресурсов, например нефтью, в таком случае сперва имеет место вспышка энергетического роста, затем снижение энергетического уровня и, наконец, выравнивание до устойчивого состояния.

Если использовать язык энергетики, можно дать сравнительный анализ различных видов систем, таких, как экосистемы, экономические, геологические, метеорологические системы и города как системы. Для всех них характерны сходные модели использования энергии. Цепь превращений энергии образует некоторый порядок и повышает качество определенной части энергии. Более высокая по своему качеству энергия возвращается обратно, обеспечивая увеличение производства энергии.

Деньги циркулируют в направлении, противоположном движению энергии, только в одной части системы. Жизнеспособность экономики решающим образом зависит от эффективного взаимодействия между всеми видами энергии. Лучшая модель — повышение энергоэффективности в условиях максимального использования ресурсов для выживания.

Ряд выводов и принципов формируется как результат познания законов энергии и взаимодействия системы. Проследивая развитие экологических систем, возрастание роли человека в них, мы можем усмотреть причину многих изменений, которые не всегда находят адекватное объяснение при типично историческом подходе. На основе этих моделей разрабатываются прогнозы периода роста, выравнивания, упадка и стабильности. Благодаря им мы понимаем причину действий, приведших в 70-х годах к энергетическому и валютному кризисам. Эти глобальные модели позволяют рассмотреть влияние энергетического и валютного кризисов на жизнь каждого человека. В конечном счете человек может предвидеть свое будущее. Эта книга ставит своей целью помочь тем, кто готов изменить свои установки и тем самым подготовить себя к грядущим переменам. Проблемы энергии, инфляции и экономики и грядущих перемен становятся для нас вполне ясными. Оказывается, величина полезной энергии, полученной из большинства источников, отрицательна или мала; причина этого в том, что скрытый приток энергии превышает величину полученной энергии. Некоторые формы энергии низки по своему качеству и слишком слабы для того, чтобы быть полезными в работе; они могут быть сконцентрированы при затрате высокой по стоимости энергии. Например, слабый ветер, прибой и маломощные геотермальные источники могут дать лишь небольшое количество полезной энергии.

Солнечную энергию, этот большой постоянно возобновляемый источник жизни биосферы, можно использовать только после ее концентрации. Различные по своим схемам гелиотехнические устройства базируются на привлечении энергии ископаемых топливных ресурсов, т. е. энергетических потоков, не связанных непосредственно с солнечной энергией. Кроме того, мы покажем, что долгое время в основе нашей экономики лежало использование эффективных самоорганизующихся преобразователей солнечной энергии (лес, экосистемы) и низкоэнергетических методов ведения сельского хозяйства, которые всегда связаны с ними.

Ядерные электростанции не производят полезной энергии¹. Даже если существующие устройства функционируют без каких-либо аварий, они создают меньше энергии на единицу дополнительно вложенной энергии, чем другие источники энергии. Следующий закон энергии можно выразить так: нельзя построить какие-либо сооружения без предварительного роста экономики, обеспечивающей необходимые капиталы. Это, по сути дела, исключает возможность гигантского роста энергии благодаря строительству атомных электростанций. Хотя до сих пор энергия термоядерного синтеза еще не используется в мирных целях, однако анализ, осуществляющийся с помощью таких понятий, как «полезная энергия», «основные затраты», «техническая сложность», показывает, что термоядерная энергетика менее энергоэффективна, чем существующие атомные электростанции, использующие энергию расщепления атома. Техника может оказаться не в состоянии использовать крайне мощную энергию, выделяемую при ядерном синтезе (например, в водородных бомбах), ибо для управления ею потребуется такой объем энергии, который превышает возможности человеческого общества.

Короче говоря, те политические деятели, которые исходят при решении национальных и международных споров из принципа, утверждающего необходимость дальнейшего роста энергии и продолжения безудержного роста, не правы и не оправдывают надежд своих сторонников. Мы должны считаться с возможностью энергетического краха.

¹ Это утверждение авторов, как показывает развитие атомной энергетики в ряде стран, и особенно в СССР, фактически неверно. — *Прим. ред.*

Перед политическими деятелями стоит более насущная задача — обеспечить плавный переход к состоянию экономики с более низким уровнем энергии, за которым наступит стабильное состояние. Доказательство необходимости этого перехода должны дать те, кто предлагает искать новые пути получения полезной энергии, в то время как наши расчеты заставляют нас скептически относиться к этим предложениям.

Мы должны еще раз подчеркнуть, что в период истощения энергоресурсов можно и должно делать большее меньшими средствами. Хранение сложной информации связано с затратами высокой по стоимости энергии. Необходимы специальные программы для хранения информации, в то время как бюджеты университетов, библиотек и правительственных информационных центров уменьшаются.

Международный энергетический обмен определяет собой не только денежный баланс, но и уровень энергетических затрат на каждого человека. Энергетические диаграммы показывают, что было бы ошибкой отказываться от «экспорта» энергии из других стран. Можно предсказать, что живой труд в таких ведущих формах производственной деятельности, как сельское и домашнее хозяйство, будет заменяться машинами. Безработица станет проблемой первостепенной важности в условиях спада деловой активности в промышленности и отраслях экономики, обеспечивающих хранение и производство информации.

Используя понятия энергии, можно рассчитать несущую мощность экономики. Количество свободной энергии одного хозяйства определяет количество дополнительной энергии, которую оно может импортировать извне, и тем самым определяет его конкурентоспособность по сравнению с другими хозяйствами. Чем больше энергии производит сельскохозяйственная ферма, тем больше энергии она может импортировать извне. В конечном счете несущая мощность экономики может быть определена как соотношение между энергией окружающей среды, которую мы эффективно используем, и количеством той импортируемой извне дополнительной энергии, которую можно приобрести.

Таким образом, энергетический подход позволяет нам предвидеть и планировать будущее, определить, какой уровень жизни человека наиболее соответствует природе,

помогает создать жизнестойкую хозяйственную систему, правильно выбрать пути, ведущие к получению наибольших выгод для общества. Смысл кратких замечаний, которые мы сделали, полнее раскроется с помощью диаграмм, которые мы включили в текст. Эти диаграммы необходимы для усвоения понятий полезной энергии, обратной связи, эффективности, полезной работы, взаимодействия денежных и энергетических потоков.

Часть первая

ЭНЕРГИЯ — ДВИЖУЩАЯ СИЛА И РЕГУЛЯТОР РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ

В главе 1 мы познакомимся с общими представлениями об энергии, рассмотрим ее различные виды и способы ее измерения. Энергия — это основная, наиболее универсальная мера всех видов работы, выполняемой людьми, и всех природных процессов. Очевидно, что основные законы энергии проявляются во всех процессах, происходящих в природе и обществе, включая экономику, культуру и искусство.

Гл. 1 знакомит нас с энергетическими символами и показывает, каким образом, сочетаясь, они образуют системные диаграммы. В гл. 2 дается определение энергии. В гл. 3 излагаются основные законы энергии. В гл. 4 описывается соотношение денежных и энергетических потоков. Гл. 5 показывает, что для моделей экономического роста и стабильности характерны различные виды энергии. В гл. 6 показывается, в каких условиях различные варианты использования полезной энергии содействуют росту, обмену и повышению уровня разнообразия. В гл. 7 приводятся примеры энергетических потоков в экологических системах, позволяющие выявить их особенности, обобщив которые, можно было бы проанализировать изменчивые нормы человеческой жизни. Гл. 8 описывает круговорот энергии на Земле и энергетические ресурсы Земли.

Глава I

СИСТЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ

Столкнувшись с нехваткой энергии, «галолирующей» инфляцией, безудержным ростом и необходимостью защиты окружающей среды, человечество начинает осознавать, что в ближайшее время оно будет вынуждено изменить образ жизни. Уже сейчас ясно, что наше будущее зависит от объединения энергетики, экономики и экологии (так называемых трех «Э») в единую систему взаимозависимых факторов.

Здравый взгляд на человечество и природу показывает, что законы энергии управляют образцами человеческого поведения, действуют в экономике как эпохи безудержного роста, так и эпохи стабилизации. Является ли стабильность, столь живо обсуждаемая в наши дни, утопическим идеалом? Или же это состояние будет состоянием экономического краха, которого следует избегать? Или же это неизбежное будущее, наступление которого надо приветствовать?

В этой книге мир рассматривается как единое целое. В ней прежде всего анализируется, как люди приспосабливаются к окружающей среде. Осознав то, что энергия обеспечивает поддержание порядка в системе «человек—природа», можно сформулировать разумные альтернативы перед экономистами и политическими деятелями; каждый человек может избрать для себя определенный образ жизни. Ключ к пониманию всех сложных проблем заключается в простом понятии энергетического потока.

Очевидно, что для всех типов культуры характерно свое понимание энергии, человека и окружающей его среды. Всю современную культуру, от художественной литературы до науки, пронизывает понимание роли энергии, принципа выживаемости и системного подхода.

До тех пор пока имелись крупные источники энергии, обеспечившие быстрый рост промышленного производства, человеческой культуры, производства продуктов питания, развитие техники и науки и тем самым создававшие максимальные возможности для выживания, люди принимали понятия энергии, экономики и окружающей среды как нечто само собой разумеющееся. Даже в школах преимущественное внимание уделялось другим предметам. Но учащиеся, задумывающиеся о будущем, сталкивались с проблемами социального неравенства и с необходимостью избавления человечества от вредных последствий, связанных с ростом энергетических потоков и изобилия, избавления человечества от войн, загрязнения среды и сверхбыстрого роста экономики.

Однако с недавних пор быстрый рост, характеризующий развитие экономики в последние два столетия, столкнулся с ограниченностью энергетических ресурсов. Рост замедлился, и внимание общественности было привлечено к проблеме энергетических ресурсов и к их влиянию на экономику и окружающую среду. В то же самое время всевозрастающая инфляция привела к падению покупательной способности граждан.

В этой связи возникло много новых проблем. В мире происходят изменения, которые трудно понять. Сомнения вызывают противоречивые рекомендации по решению «энергетического кризиса». Следует ли продолжать рост или же мы должны прекратить дальнейшее расширение экономики? Снизится ли уровень потребления энергии, а вместе с ним уровень жизни, численность населения и темпы роста в следующих двух столетиях? Найдены ли другие источники энергии, способные заменить иссякающие? Существует ли единый энергетический критерий измерения наиболее важных процессов? Какова должна быть национальная политика в вопросах денежного обращения, цен, займов, позволяющая обеспечить лучшее будущее человечества? Какую политику должны поддерживать граждане для того, чтобы быть уверенными в своем будущем? Какой

образ жизни следует принять в будущем? Как может человек достичь понимания реального положения дел?

Известно, что большинство американцев не получили серьезного знания основных законов энергии, экономики и функционирования природных экосистем, иногда называемых экологическими. Главной целью образования считалось изучение отдельных компонентов систем, т. е. изучение человека и природы отдельно друг от друга. Правда, ныне уже предприняты попытки «объединить» отдельные компоненты с тем, чтобы понять поведение целого; но лишь немногие из ученых обладают достаточным опытом для осуществления такого синтеза.

Один из методов изучения частей внутри упорядоченного целого для того, чтобы сделать сложное простым, называется системным подходом. Этот метод при изучении систем использует диаграммы, позволяющие сделать расчеты потоков и ресурсов. Например, план прокладки водопроводных труб в новом доме представляет собой системную диаграмму. Из плана можно выяснить, с какой скоростью вода будет поступать в трубопровод и вытекать из него, сколько будет стоить его эксплуатация и какие виды энергии участвуют в этих процессах. Поскольку энергия участвует во всех процессах, можно составить диаграммы для любого из этих процессов, начиная с потоков воды и роста растений и кончая мировой торговлей зерном и международной политикой. Диаграммы энергетических потоков помогают изучить влияние запасов энергии на международные события, позволяют понять и предсказать будущее.

Поэтому сначала мы должны познакомиться с системными диаграммами и с вводимыми в них символическими обозначениями. Затем эти диаграммы будут использованы для подтверждения того, что решающие исторические события и процессы природы подчиняются законам энергии.

Определение системы

Слово «система» обозначает единое целое, функционирующее благодаря взаимодействию определенным образом организованных элементов.

Например, дом — это система, состоящая из водопровода, электропроводки, комнат, строительных деталей и т. д. Радиоприемник — система различных электронных ламп,

проводов и других электродеталей, связанных в единое целое. Футбольная команда состоит из отдельных игроков, действующих как одно целое благодаря различным невидимым связям, возникающим в результате совместных тренировок и общей мотивации. Класс также представляет собой систему, возникшую благодаря объединенным усилиям преподавателя и школьников, в результате которых и происходит обучение. Лес — экологическая система, включающая деревья, почвы, круговороты химических веществ, диких животных и микроорганизмы, взаимодействующие таким образом, чтобы лес существовал как единое целое. Галактики являются системами звезд, которые взаимодействуют путем обмена веществом, энергией и гравитационными полями. Человеческое тело — система взаимодействующих органов: системы кровеносных сосудов, нервов, органов пищеварения, мышечной и костной систем. Каждая из основных частей тела представляет собой подсистему. Например, в медицинских учебниках описываются пищеварительная, кровеносная, нервная системы и т. д. При более тщательном рассмотрении отдельная подсистема в свою очередь состоит из тканей и клеток, которые также являются системами, поскольку состоят из частей, микроскопических компонентов живой клетки. Это системы внутри систем, которые в свою очередь оказываются подсистемами системы.

Поскольку невозможно охватить все сразу, необходимо выбрать масштаб изучения предмета или вопроса. Большинство систем, рассматриваемых в этой книге, относится к так называемым большим системам: экологические, экономические и социальные системы. Однако принципы энергетического и системного подходов применимы как к малым (например, химические реакции), так и к большим системам (например, звезды). Принципы энергетического и системного подходов применяются в биологии, физике, химии, технологии и многих других областях исследований.

Обычно, и это принято в нашей системе образования, начинают изложение того или иного предмета с анализа его частей, с описания мелких деталей. Однако в этой книге принят обратный способ изложения. Мы исходим из единства элементов при анализе поведения системы в целом и влияния больших систем на подсистемы. Иногда говорят, что для понимания какой-то проблемы необходи-

мо понять более общую проблему. Например, понимание функционирования фирмы может быть достигнуто лишь в том случае, если будет проанализирована экономика в целом. Понимание процессов, происходящих в экосистеме какого-то региона, достигается лишь при исследовании круговорота речной воды и химических веществ во всем регионе.

Системные диаграммы и энергетические потоки

Обозначения

Рис. 1 представляет собой диаграмму некоторых процессов на ферме. Ферма является системой, поскольку имеет взаимодействующие части. Границы системы очерчены пунктирной линией. Вне и внутри этой границы изображены некоторые из основных взаимодействующих частей, влияющих на производство всех продуктов питания на ферме. Растения получают вещества и необходимую энергию из внешних источников; направления потоков обозначены линиями со стрелками. Поток из системы — это произведенные продукты питания. Поток, направленный вниз, — использованная энергия и энергия тепловых потерь; они показаны специальной стрелкой. Диаграмма показывает, что производство продуктов питания предполагает постоянное взаимодействие различных видов энергии (солнца, дождя, питательных веществ почвы и человеческого труда, использующего технику).

На диаграмме круг является условным обозначением внешних источников поступающей энергии. Знак, похожий на цистерну, обозначает запас питательных веществ почвы в пределах границ фермы. Знак, похожий на пулю, — условное обозначение взаимодействия процессов на ферме. (Стрелки характеризуют направления входящих и исходящих потоков.) Стрелка, направленная вниз, обозначает расход используемой энергии.

Любая стрелка — это потоки различных видов, но каждый из них сопровождается потоком энергии. В любом внешнем источнике и резервуаре имеется запас энергии. Таким образом, системную диаграмму можно назвать схемой энергетических потоков: она характеризует поток энергии, поступающей вместе с потоками материалов, денег, информации и т. д.

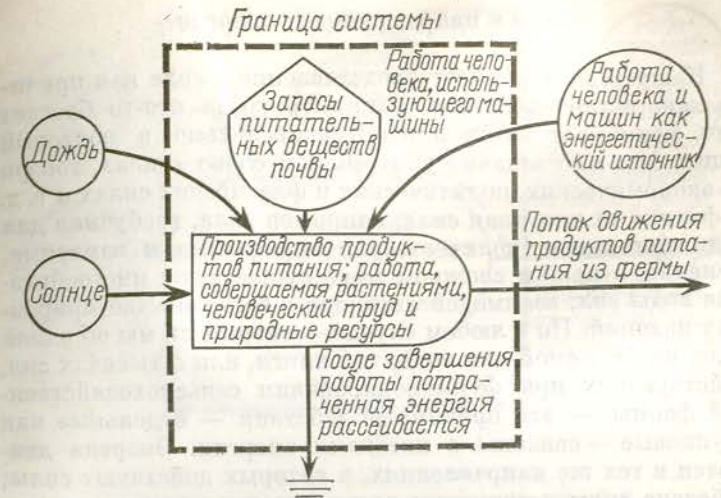


Рис. 1. Диаграмма потоков энергии, обеспечивающих работу фермы.

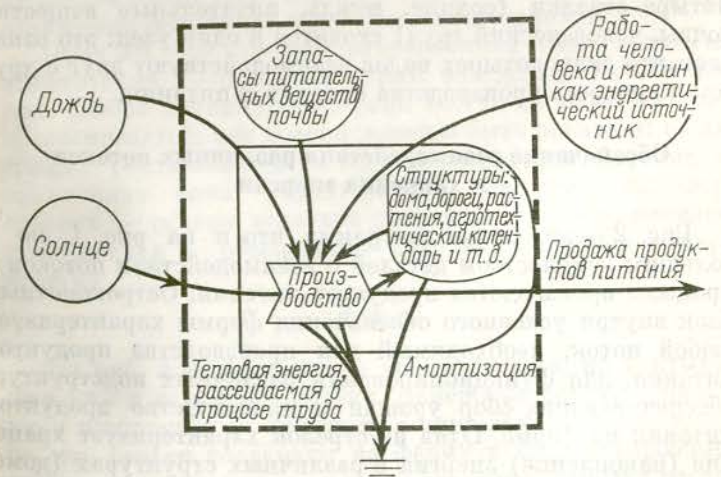


Рис. 2. Та же диаграмма, что и на рис. 1. Дополнительно показаны запасы и внешние источники энергии.

Силы и направленность энергии

Каждый из нас имеет представление о силе как причине какого-либо действия, например когда кто-то бросает мяч, поднимает книгу или опускает письмо в почтовый ящик. Мы многозначно употребляем слово «сила», говоря об экономических, политических и физических силах и т. д. В физике та или иная сила, например сила, требуемая для поднятия книги, количественно определима и измерима. Конечно, в нашем сложном мире существуют многообразные виды сил, взаимодействующие в большинстве природных явлений. Но в любом случае — говорим ли мы об одной силе, необходимой для поднятия книги, или о тысячах сил, действующих при функционировании сельскохозяйственной фермы, — эти причинные действия — отдельные или групповые — связаны с потоками энергии. Энергия движется в тех же направлениях, в которых действуют силы; действие силы и движение энергетических потоков происходят по тем же самым векторам причинного действия. Стрелки на диаграмме (см. рис. 1) — это линии энергетических потоков и вместе с тем линии причинного действия. Четыре стрелки (солнце, дождь, питательные вещества почвы, человеческий труд) сходятся в один узел: это означает, что силы четырех видов взаимодействуют друг с другом в процессе производства продуктов питания.

Обозначение взаимодействия различных потоков и хранения энергии

Рис. 2 — это та же диаграмма, что и на рис. 1, но с большим количеством деталей о взаимодействии потоков в процессе производства продуктов питания. Остроконечный блок внутри условного обозначения фермы характеризует любой поток, необходимый для производства продуктов питания, для функционирования различных подструктур, обеспечивающих сбор урожая и производство продуктов питания на ферме. Одна из стрелок характеризует хранение (накопление) энергии в различных структурах (доме, дорогах, растениях, агротехническом календаре и т. д.). Определенные активы также необходимы для работы фермы, что и показано стрелкой, являющейся условным обозначением труда и идущей от накопителей энергии влево. В итоге для схематического описания производства про-

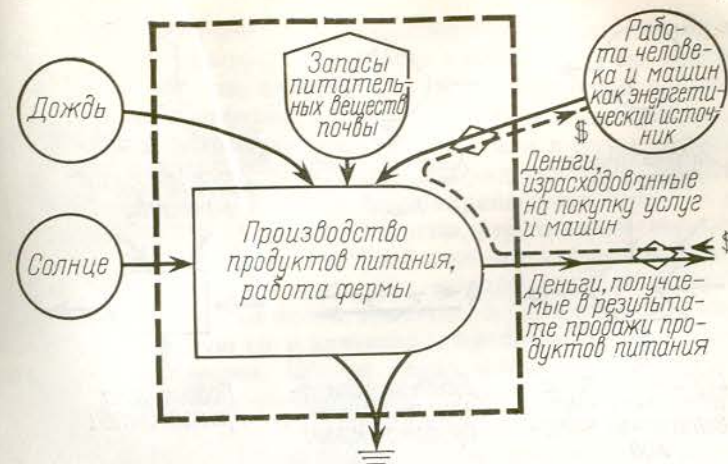


Рис. 3. Та же диаграмма, что и на рис. 1, 2. Дополнительно показаны денежные потоки.

дуктов питания требуется пять стрелок, характеризующих взаимодействие труда и различных материалов.

Отметим, что стрелка, направленная вниз, обозначает амортизацию сооружений фермы вследствие их обесценения. Любое хранилище энергии всегда на какую-то часть обесценивается; эти потери должны быть показаны на диаграмме, учитывающей рост и потери энергии. Стрелка, направленная вниз, характеризует два процесса: левая стрелка — потери тепловой энергии в процессе производства; правая — обесценение материализованной в чем-то энергии.

Деньги

На рис. 3 изображена та же диаграмма, но учитывающая уже и денежные потоки. Денежные потоки обозначаются пунктирными линиями, с помощью которых показано, что деньги поступают на ферму в ходе товарообмена при продаже продукции и затем тратятся (стрелка справа) при покупке удобрений и машин. Условное обозначение, соединяющее линии денежного потока и движения продуктов питания и машин, характеризует обмен денег на товары.

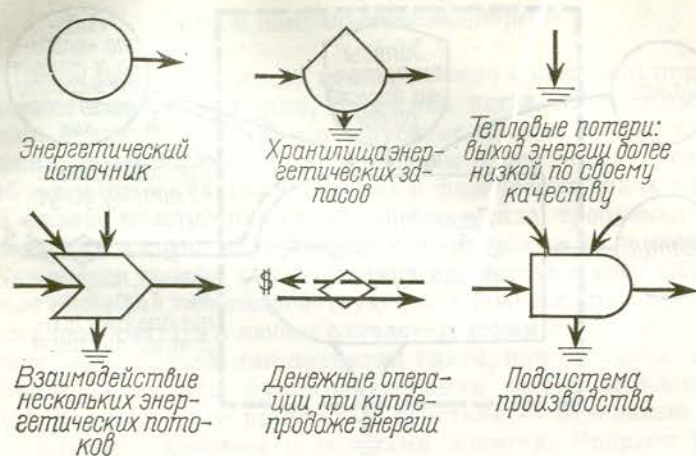


Рис. 5. Диаграмма потоков энергии, обеспечивающих работу фермы и измеренных в калориях.

Рис. 4 включает все ранее использованные условные обозначения. На первых порах эти обозначения и стрелки непривычны, однако впоследствии мы увидим, что они позволяют обобщить наблюдения за функционированием фермы и его связи с погодой (природная система) и экономикой (система, созданная человеком).

Условные обозначения энергии

В системных диаграммах на рисунках 1—4 было использовано шесть условных обозначений, которые будут неоднократно использоваться при обсуждении различных вопросов, связанных с энергией, экономикой и окружающей средой (рис. 5).

Энергетический источник. Кругом обозначается внешний для данной системы источник энергии. Им может быть постоянно действующий источник, например река, или крупный источник с постоянной мощностью, достаточной для обслуживания некоторого множества потребителей (таков, например, источник электроэнергии, используемой в быту), пригодный для удовлетворения многих потребностей. Им может быть изменяющийся источник энергии. Например, солнечная энергия изменяется на протяжении суток. Можно включить в диаграмму обозначение вида рассматриваемой энергии и способов ее доставки,

Накопители энергии. Этим символом обозначается запас того или иного вида энергии внутри системы. Это может быть энергия, заключенная в водонапорной башне, в резервуаре с нефтью, в производственных постройках, в библиотеке, хранящей информацию, или в иных структурах, повышающих ценность и упорядоченность энергии.

Тепловые потери. Стрелка, направленная вниз, — условное обозначение потерь энергии, утратившей свое качество, т. е. энергии, неспособной уже осуществлять работу, необходимую для системы. На выходе системы энергия, потерявшая свое качество, включает в себя тепловую энергию, потерявшую свое качество в процессе труда, а также энергию рассеяния. Потери тепла имеют место при трении, например, автомобильных колес о почву. Тепловые потери связаны и с выхлопными газами, выбрасываемыми в атмосферу. В человеческом организме теплообмен осуществляется кожным покровом и легкими.

Концентрация вещества в той или иной форме аккумулирует энергию. Энергия потеряна, если концентрация понижается. Это и есть обесценение. Обесценение автомобиля — это потеря энергии по мере того, как он ржавеет, изнашивается и разваливается на части.

Условное обозначение тепловых потерь используется во всех схемах накопления энергии и во всех диаграммах.

Взаимодействие. Взаимодействие двух или более видов энергии, необходимых для осуществления процесса, обозначается остроконечным блоком. Если взять ферму, то здесь солнечный свет взаимодействует с водой, землей, купленными машинами и накопителями энергии. Все они необходимы для взаимодействия различных потоков энергии, результат которого — производство продуктов питания.

Денежное обращение. Эта схема характеризует направление денежного потока, связанное с оплатой потока энергии, и обратное направление движения энергоемких материалов. На рис. 3 условное обозначение денежного обращения свидетельствует о приросте денег после продажи продуктов питания и расходе денег на покупку машин.

Производство. С помощью этого условного обозначения описываются процессы, формы взаимодействия, аккумуляции энергии и т. д., необходимые для повышения качества солнечной энергии. Это же условное обозначение можно использовать и для характеристик иных продуктивных систем, например фотосинтеза растений. Это же условное

обозначение можно использовать без дополнительных деталей (см. рис. 1) или с деталями (см. рис. 2). И на том и на другом рисунке оно относится лишь к тем структурам и процессам, присущим ферме, которые представляют собой подсистемы, производящие продукты питания. Это же условное обозначение используется и для описания природных экологических систем, таких, как лес, коралловый риф, водные биологические популяции.

Цифры на диаграммах

На рис. 5 на диаграмму фермы нанесен ряд цифр. Они показывают число единиц поступающей или выходящей энергии за день. Если потоки изменяются во времени, мож-

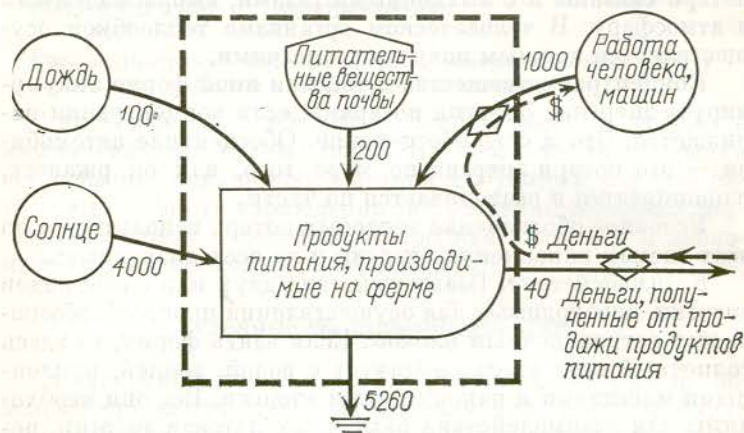


Рис. 4. Условные обозначения, используемые в данной книге.

но указать средние величины для того, чтобы оценить их количество и то, как они взаимодействуют. Каждый поток можно было бы выразить в своих собственных единицах измерения: удобрения — в фунтах, осадки — в дюймах, солнечный свет — в международных единицах измерения, стоимость машин — в долларах, продукцию — в фунтах. На рис. 4, однако, все потоки выражены в одних и тех же единицах: число Кал. за день. Использование общей единицы измерения позволяет нам сравнить потоки, а Калория является единицей измерения энергии.

Глава 2

ЧТО ТАКОЕ ЭНЕРГИЯ?

Как мы узнали из описания потоков, взаимодействующих на ферме (рис. 2), все происходящее можно выразить как потоки энергии того или иного качества. Другими примерами потоков энергии могут быть: движение автомобиля, водонапорная башня, прибор, ведение домашнего хозяйства, работа ЭВМ и т. д. Все эти формы энергетических процессов можно соотнести друг с другом; для большинства форм энергии найдены эквиваленты преобразования, которые определяют, какое количество энергии одного вида эквивалентно определенному количеству энергии другого вида. Большинство людей связывают слово «энергия» с вложениями энергии, необходимой для ведения хозяйства или для обеспечения нормального функционирования организма. Иными словами, большинство людей подразумевают под энергией пищу, топливо, электричество, атомную энергию и т. д. Однако энергия — необходимый компонент осуществления всех процессов во Вселенной. Для того чтобы выявить энергетический базис взаимоотношения человека и природы, мы должны понять роль энергии во всех природных и социальных процессах.

Энергия — мера всего. Она измеряет потенциальную способность осуществления будущих процессов и скорость их наступления. Общий результат завершенных процессов измеряется использованной энергией.

Энергия поступает на Землю от Солнца и поглощается при нагревании озер и морей, при росте растений, косвенно участвует в возникновении ветров, волн, угля и нефти.

Во всех этих процессах необходимым компонентом является энергия.

Более сложные формы взаимодействия ресурсов, используемых на фабриках, фермах и в процессе человеческого труда, представляют собой сочетание потоков различных видов энергии. Даже хранение и передача информации, осуществляющиеся благодаря книгам или телевизионным передачам, связаны с затратами энергии. Нередко энергия, потребляемая в производстве, получена далеко от места ее непосредственного потребления. Электричество, необходимое для удовлетворения домашних нужд и освещения, обычно получают на громадных предприятиях, удаленных от нас на много миль. Мы часто и не подозреваем, на каком огромном количестве энергии базируется наша жизнь. Для того чтобы суммировать основные потоки энергии, определить, откуда они поступают и куда направляются, следует использовать диаграммы. На рис. 1 показано, что энергия для производства продуктов питания связана с солнечным светом, осадками, работой фермера и т. д. Некоторая часть поступающей энергии выходит из системы в виде тепловой энергии, которая рассеивается в окружающем пространстве. Но продукты питания, которые произведены на ферме, воплощают в себе энергию высшего качества, необходимую для человека.

Что такое тепловая энергия?

Что такое тепло, знает каждый, ибо всем знакомо ощущение жары или холода. Уровень теплоты можно измерить термометром, в котором находится жидкость, расширяющаяся при повышении температуры. Теплота — это одна из многих форм, в которую можно перевести все остальные формы энергии. Именно по этой причине для выражения количества энергии мы используем единицу теплоты — калорию.

Теплота — энергия хаотического движения атомов и молекул во всех направлениях (рис. 6).

Тепловую энергию трудно использовать в силу хаотического движения молекул. При одной и той же температуре тел теплота является понижением качества энергии. Если же температура тел различна, хаотическое движение имеет тенденцию распространяться от точек с максимальной концентрацией (высокой температуры) в точки с мень-

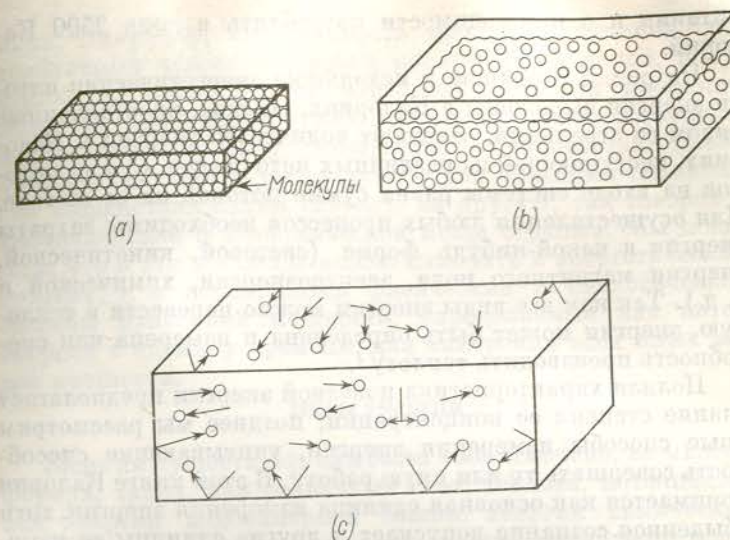


Рис. 6. Атомы и молекулы, движение которых создает тепло, одну из форм проявления энергии (а — твердое тело; б — жидкость; в — газ).

шей концентрацией (более низкой температуры). Таким образом, если есть разница в температурах, тепловая энергия может вызывать энергетические процессы, например поток тепловой энергии.

Мир, в котором мы живем, требует достижения определенного уровня тепловой энергии для нормального функционирования всех своих компонентов. Люди, животные, элементы экосистем, города и т. д. лучше всего функционируют в таком диапазоне температур, который может обеспечить воспроизводство тепловой энергии.

Калория — единица измерения энергии

Поскольку все виды энергии можно перевести в тепловую, мы можем измерить энергию, поступающую и выходящую из системы, в единицах тепловой энергии — Калориях¹. Большинство из нас знает о калорийности продуктов

¹ Калория (с большой буквы) — это килокалория, равная 1000 калориям.

питания и о необходимости потреблять в день 2500 Калорий.

На рис. 5 входящие и исходящие энергетические потоки энергии выражены в Калориях. Цифры, проставленные рядом со стрелками, означают количество энергии в Калориях, поступающей из различных источников. Сумма потоков на входе системы равна сумме потоков на ее выходе. Для осуществления любых процессов необходимы затраты энергии в какой-нибудь форме (световой, кинетической, энергии магнитного поля, электроэнергии, химической и т. д.). Так как все виды энергии можно перевести в тепловую, энергия может быть определена и измерена как способность производить теплоту¹.

Полная характеристика полезной энергии предполагает знание степени ее концентрации; позднее мы рассмотрим иные способы измерения энергии, учитывающие способность совершать ту или иную работу. В этой книге Калория понимается как основная единица измерения энергии, хотя обыденное сознание допускает и другие единицы ее измерения. Одной из причин всех трудностей осознания «всюдности» энергии является то, что в различных сферах техники используются различные единицы измерения энергии. Такое же положение существует и при рассмотрении единиц длины (метры, футы, ярды, дюймы, мили и т. д.), и мы должны научиться разбираться в этих обозначениях единиц измерения и переводить их в другие по мере необходимости.

Можно перевести все единицы измерения энергии в Калории: британские единицы измерения температуры, джоули, ватт-часы и т. д.

Мощность

Мощность — скорость энергетического потока. Мощность определенного потока энергии равна количеству Калорий, поступающих в определенный промежуток вре-

¹ Во многих курсах по физике энергия определяется как способность совершать работу. Это правильно, если рассматривать энергию одного и того же качества, но энергия, различная по своему качеству, совершает работу, разную по величине. Тепловая энергия рассеяния не может совершить никакой работы. Поэтому не целесообразно определять энергию как способность совершать работу до тех пор, пока мы не рассмотрим многообразные по качеству виды энергии.

мени. Например, энергоемкость продуктов питания, потребляемых человеком, равна количеству Калорий, полученных за день. Другой известной единицей мощности является лошадиная сила. Мощность электроэнергии, используемой в быту, измеряется в киловаттах. Слово «мощность» обычно используют и для описания способности воздействия одной системы на другую; так говорят о «политической и экономической мощи страны». Мы покажем, что и эти процессы можно измерять в энергетических потоках, т. е. использовать физические и биологические способы измерения мощности, определяемые как поток энергии в единицу времени, для измерения всех иных видов мощности.

Виды энергии

Энергия существует, как было уже отмечено, во многих формах, таких, как солнечный свет, теплота, потенциальная энергия водонапорной башни, энергия химических веществ, электрическая энергия, энергия магнитного поля, инерция и т. д. Энергию одного вида можно преобразовать в энергию другого вида. Существуют законы, показывающие, какое количество энергии можно превратить в энергию более высокого качества. Перейдем к рассмотрению различных видов энергии.

Солнце посылает потоки энергии на Землю. Прямо или косвенно большинство энергетических потоков на Земле так или иначе связано с солнечной энергией. Прямо или косвенно энергия Солнца обеспечивает существование человека и природы. Внутри Солнца происходят ядерные реакции, аналогичные тем, которые происходят при взрыве водородной бомбы; однако громадные гравитационные силы сдерживают взрыв внутри Солнца. Энергия внутри-ядерных реакций в конечном счете связана с энергией света, квантов энергии, называемых фотонами. По мере удаления от Солнца фотоны рассеиваются, и ко времени достижения ими Земли они уже далеки друг от друга. Поэтому солнечный свет, попадающий на Землю, является ослабленным: относительно малое число фотонов попадает на какой-то предмет за определенный момент времени (см. рис. 7). Если солнечный свет падает на почву или воду, они нагреваются, свет преобразуется в другую форму энергии — теплоту. Солнечный свет падает и на зеленые растения, которые преобразуют его в сложных процессах,

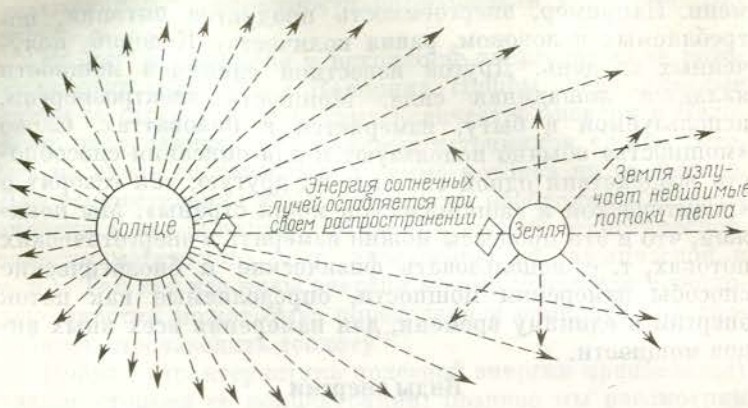


Рис. 7. Солнечная энергия, попадающая на Землю, и тепловая энергия, излучаемая Землей.

поглощая воду и питательные вещества почвы при производстве продуктов питания (см. рис. 1). Продукты деятельности растений используются природными экологическими системами для своего сохранения и роста, а также в сельском хозяйстве для удовлетворения нужд человека.

В некоторых местах, например на болотах, в устьях рек и морях, часть органических растительных веществ, опускаясь на дно, покрывается песком прежде, чем станет пищей животных или микроорганизмов. При наличии определенной температуры и давления грунтовых пород на органические вещества в течение тысяч или миллионов лет такое органическое вещество превращается в уголь и нефть. Эти отложения и образуют то, что называется ископаемым топливом. Медленные процессы превращения, происходившие в природе, создали большие запасы угля и нефти. В XX в. эти запасы весьма интенсивно разрабатывались и эксплуатировались для обеспечения жизни городов, работы машин, крупных заводов, автомобилей и т. д. Но сейчас уже очевидно, что мы используем ресурсы топлива быстрее, чем они воспроизводятся природными процессами. Возможно, уже близко время, когда запасы ископаемого топлива, расположенные близко к поверхности земли, будут исчерпаны. Действительно, уже сейчас в поисках новых месторождений топлива мы все глубже вгрызаемся в землю и уходим далеко в море; поэтому осво-

ение таких ресурсов оказывается весьма дорогостоящим способом поддержания человеческого существования.

Солнечная энергия, не поглощенная в процессах фотосинтеза, нагревает сушу и моря. Температура — мера концентрации тепла. Таким образом, там, где имеется разница в температурах, возникает различие в уровнях концентрации теплоты. Концентрированная тепловая энергия имеет тенденцию переходить из областей с максимальной температурой в области с минимальной температурой, т. е. в направлении к областям с меньшей концентрацией тепловой энергии. Когда первоначальные различия в тепловом распределении выравнивались в обеих областях и обладали уже одинаковой температурой, тепловая энергия, различная по степени своей концентрации, понизила свое качество.

Поскольку Солнце по-разному нагревает те или иные регионы Земли, возникают различия в температуре между сушей и морем, между тропиками и Арктикой. Температурные различия являются причиной появления ветров, образования потоков теплого воздуха. При нагревании воды часть ее испаряется в атмосферу. Пары воды в атмосфере переносятся ветром над Землей, и конденсаты могут выпасть в виде дождя или снега. Энергия горных рек, возникающих при таянии ледников и за счет осадков, представляет собой форму потенциальной энергии, которую можно использовать для вращения водяных колес и турбин. Вода совершает круговорот. Мы часто используем силу воды и ветра. Вода, находящаяся в круговороте, управляемом Солнцем, разрушает горы, реки выбрасывают осадочные отложения на побережье.

Океанические волны и морские течения — еще одна форма энергии. Частично в их создании участвует ветер, и, таким образом, в конечном счете они — результат действия Солнца.

В большинстве районов Мирового Океана один раз или дважды в день происходят приливы и отливы. Приливы и отливы создаются лунным притяжением, вращением Земли вокруг своей оси. Все происходящее вследствие вращения Земли и лунного притяжения связано с солнечной энергией, находящей косвенное выражение в энергии приливов и отливов. Энергия приливов используется в экосистемах и геологических процессах, изменяющих рельеф морского дна и береговые ландшафты.

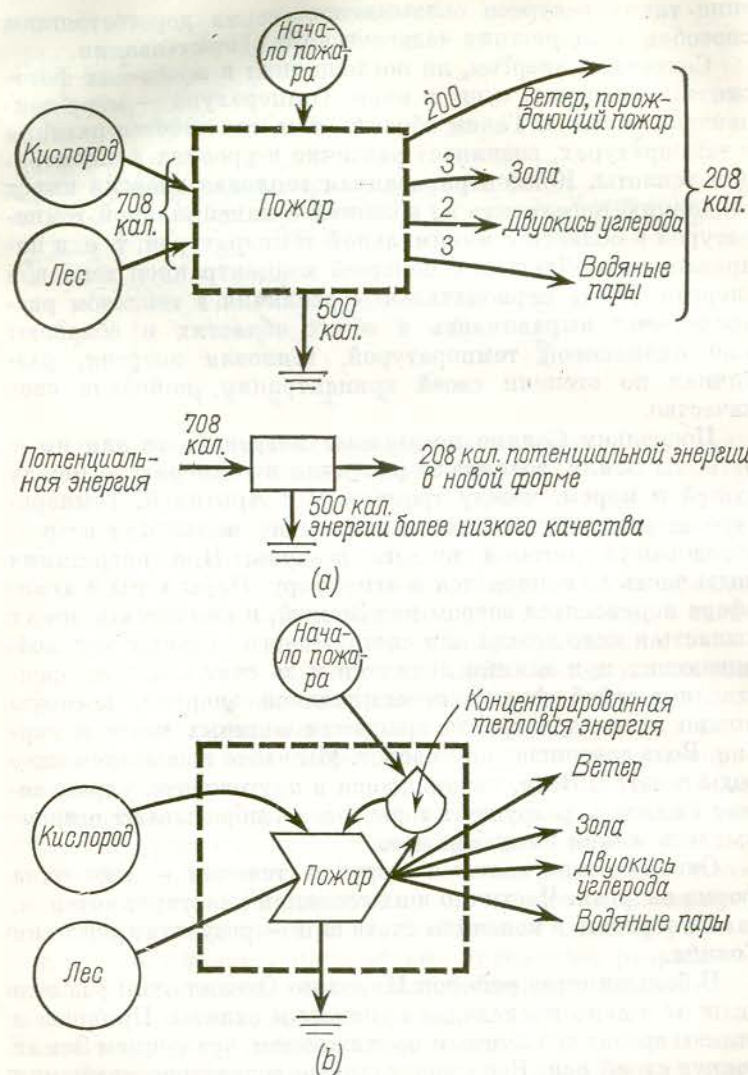


Рис. 8. Энергетическая диаграмма реакции горения:

кислород	+	древесина	→	огонь	→	ветер	+	двуокись углерода	+	пары воды	+	зола
192 г.		190 г						264 г.		108 г		10 г
а) Тепловые эквиваленты (кал) энергии, поступающей в очаг пожара и излучаемой им; б) Энергетические пропорции в энергетическом потоке, вызванном пожаром.												

Электрическая энергия — концентрация электронов, заряженных атомных частиц. Электрическая энергия создается в природных процессах, например при грозе, и мощными электрогенераторами.

Соединения различных атомных частиц содержат скрытую энергию, которую иногда можно преобразовать в другие формы энергии. Энергия электронов внешней оболочки обнаруживается, когда атомы соединяются и взаимодействуют в химических реакциях (см. рис. 6). Гораздо больше энергии заключено в атомных ядрах, это та энергия, которая высвобождается, например, при взрыве атомной бомбы.

Внутренние реакции (внутри Солнца или в атомной бомбе) высвобождают ядерную энергию в виде теплового, светового и радиоактивного излучения. Управление ядерными процессами осуществляется на атомных электростанциях, где высвобождается тепловая энергия большой концентрации. Теплота, полученная таким путем, используется для приведения в движение турбин.

Любой движущийся объект, например автомобиль, обладает кинетической энергией, причем количество энергии возрастает пропорционально квадрату скорости. При столкновении автомобилей эта энергия немедленно превращается в работу разрушения и теплоту. Перед столкновением все части автомобиля двигались вместе; энергию такого движения мы называем кинетической энергией. После аварии энергия превратилась в случайные вибрации и движение молекул металла. В результате этого металл нагрелся, то есть энергия не исчезла, а превратилась в теплоту.

Процессы, требующие взаимодействия различных видов энергий

Если для осуществления какого-то процесса необходимы два вида энергии, конечный итог зависит от них обоих. Например, два вещества могут вступить в химическую реакцию, так, кислород необходим для поддержания реакции горения древесины. Поступающая энергия заключена как в самих веществах, так и в связях их друг с другом. В только что приведенном примере, поскольку для процесса горения необходимы и кислород, и древесина, мы должны охарактеризовать каждый из этих элементов как то, что привносит

часть энергии, преобразуемой в ходе реакции. Это и отмечено на диаграмме, где две стрелки сходятся в общий блок (см. рис. 4 и 8). Мы можем считать, что один поток вызывает другой. Каждый поток, взаимодействуя с другим, усложняется. Многие люди думают, что поток химических веществ, в данном случае кислорода, необходимых для поддержания горения, представляет собой не энергию, а только сырой материал. Но это неверно: любое вещество, необходимое для осуществления энергетического процесса, содержит внутри себя компонент энергии.

Взаимодействие кислорода и древесины показано на рис. 8. Продуктами этого процесса являются нагревание атмосферы, двуокись углерода, пар и рассеиваемая тепловая энергия. Этот пример иллюстрирует природу взаимодействующих энергетических потоков. На рис. 8а каждое из исходных веществ (древесина и кислород) вносит в химический процесс определенную энергию. Здесь показано, что сумма энергии на входе равна сумме энергии на выходе, включая тепло, энергию ветра и химическую энергию, заключенную в конечных продуктах (двуокиси углерода и парах воды). При этом здесь необходимы большие объемы кислорода в атмосфере и гораздо меньшая биомасса древесины. Однако ни один из компонентов не может высвободить свою энергию сам по себе, без взаимодействия с другим. То обстоятельство, что один компонент необходим для высвобождения энергии другого, обозначается символом взаимодействия (см. рис. 8b).

На схеме фермы на рис. 1 показано взаимодействие трех видов энергии в процессах превращения солнечной энергии в продукты питания. Более детализированная диаграмма на рис. 2 показывает необходимость всех трех видов энергии. Это достигается с помощью объединения стрелок энергетических потоков в едином остроугольном блоке, ибо эти потоки равнозначны и могут быть объединены. Рис. 2 характеризует также рассеяние большого количества энергии в более низкую по качеству тепловую энергию. Функционирование различных структур фермы обеспечивается благодаря потокам, идущим извне. Таким образом, рис. 2 показывает, что производство продуктов питания связано с различными видами работы и энергии (дождь, солнце, питательные вещества почвы, труд людей, техника) и с наличием обратных связей между ними и накопителями энергии.

Качество и концентрация энергии

Как уже было установлено, все виды энергии можно полностью перевести в тепловую энергию, которая является энергией более низкого качества. Эквиваленты тепловой энергии позволяют измерить все виды энергии. В любой системе число калорий на входе должно быть эквивалентно числу калорий на выходе, включая рассеиваемую тепловую энергию. Калории измеряют энергию при переходе ее в теплоту, понижающую качество энергии.

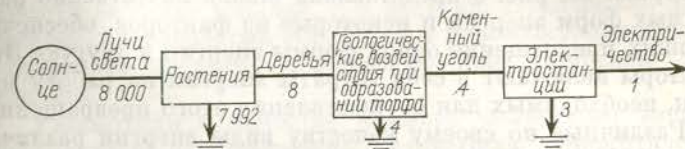


Рис. 9. Шкала качества энергии, отражающая затраты энергии более низкого качества в энергию более высокого качества.

Второе измерение энергии связано с повышением уровня ее качества. Для создания энергии более высокого качества необходимы большие затраты энергии более низкого качества (см. рис. 9).

Виды энергии, которые мы уже рассмотрели, различаются по качеству. Уровень концентрации некоторых видов энергии, например солнечной, незначителен, других, в частности энергии, выделяющейся в процессе использования нефтепродуктов, при взрыве динамита, наоборот, высок. Энергию первого рода нельзя использовать тем же способом, что и энергию второго. Более того, для концентрации ее нужны затраты энергии. Мы должны понизить качество одной части энергии, чтобы обеспечить концентрацию другой, что хорошо видно из рис. 2. Солнечная энергия, форма слабо концентрированной энергии, взаимодействует с другими видами энергии при производстве продуктов питания, концентрирующихся в себе энергию. В эпоху открытий новых источников энергии большинство людей не понимают, что концентрированная энергия, необходимая для поддержания жизненной активности городского населения, в свою очередь требует развития способов концентрации энергии. Для образования одной Калории высококонцентрированной энергии необходимы большие затраты энергии слабой концентрации.

Можно построить шкалу повышения качества энергии от наименьшей до наибольшей концентрации энергии. Процессы превращения слабоконцентрированной энергии в более концентрированную связаны с понижением качества значительного количества энергии. Для создания одной Калории электроэнергии, используемой в быту, необходимы затраты 4 Калорий угля на тепловых электростанциях, 1000 Калорий солнечной энергии необходимы для производства биомассы дерева, сжигание которого дает одну Калорию. На рис. 9 представлена шкала качественно различных форм энергии и некоторые из факторов, обеспечивающих превращение одной формы энергии в другую. Эти факторы включают в себя затраты энергии на работу машин, необходимых для осуществления этого превращения.

Различные по своему качеству виды энергии различаются и по способности совершать ту или иную работу. При завершении работы и при переходе энергии в теплоту рассеяния можно оценить совершенную работу в калориях тепловой энергии, функционировавшей в системе. Однако способность совершать работу нельзя измерять в калориях любой энергии до тех пор, пока мы не знаем качества этой энергии. Калория рассеиваемой тепловой энергии не может совершать работу. Калории солнечной энергии должны быть еще сконцентрированы для того, чтобы они могли совершить работу. Калория же ископаемого или ядерного топлива — это энергия высокой концентрации. Энергия высокой концентрации совершает больший объем работы, управляет большим числом процессов и включает в себя множество видов энергии — от наиболее концентрированных до рассеиваемой тепловой энергии.

Однако для того чтобы совершить работу, они должны взаимодействовать, усиливая потоки энергии низкого качества.

Эффективность

Любое соотношение энергетических потоков называется эффективностью. Наиболее важным показателем эффективности является отношение количества энергии на выходе ко всей энергии на входе системы. Например, соотношение между энергией, «материализованной» в древесине, и поступающей солнечной энергии характеризуется на рис. 9 как отношение 8:8000, или равно 0,1%. Различные виды энергии различны по своей эффективности. Эффективность

превращения определенного числа калорий энергии низкого качества в некоторое число калорий энергии более высокого качества представляет собой меру полезности последней.

Сложная работа требует большого количества различных видов высококачественной энергии. Мы привыкли отождествлять энергию, затрачиваемую в процессе производства, с энергией топлива, забывая об энергии человеческого труда и используемых материалов. На деле же энергия, затраченная на добычу сырья, впоследствии используемого в качестве топлива, т. е. энергия, затраченная на его добычу, производство, обработку и перевозку, значительно превышает энергию, получаемую при сжигании этого топлива.

Рассмотрим в качестве примера количество энергии, необходимое для движения автомобиля. Энергетические затраты оказываются гораздо большими, чем затраты на бензин. Они включают в себя энергию, затраченную на производство автомобиля, запасных частей к нему, на обучение шофера и подготовку ремонтных рабочих, на создание сети автомобильных дорог и т. д. Рис. 10 — энергетическая диаграмма всех потоков энергии, необходимых для эксплуатации автомобиля. Иными словами, энергия топлива — это лишь одна часть всей энергии, необходимой для движения автомобиля. Все материальные и трудовые затраты в их энергетическом выражении должны быть включены в энергетическую оценку системы и ее функционирования.

Ошибка людей, определяющих, какие процессы в конечном счете требуют больших или незначительных затрат, связана с тем, что они упускают из виду многообразие фактически расходуемой энергии. Кажется, что деятельность по обучению людей связана с небольшими затратами энергии и включает лишь энергию, затрачиваемую преподавателями в процессе обучения, но не включает затраты на машины. В действительности, однако, эта энергия гораздо более велика и включает в себя энергию различных форм деятельности в сфере образования.

Мы настолько привыкли рассматривать энергию как физический процесс, что не предполагаем, что мышление — это также энергетический процесс. Чтение и размышление о прочитанном — это процессы, использующие энергию. Поскольку развитие умственных способностей связано с

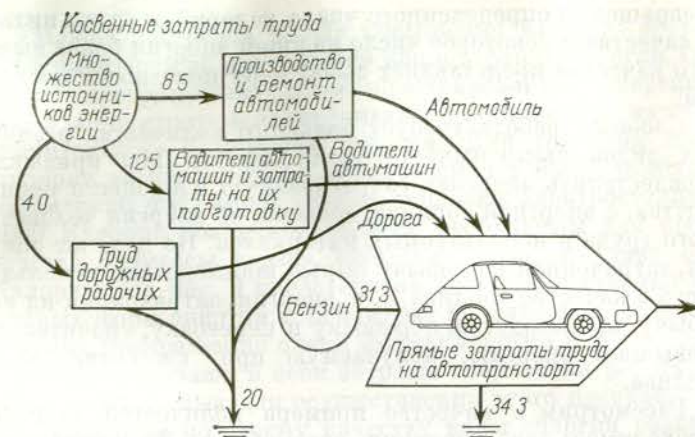


Рис. 10. Большое число скрытых потоков энергии обеспечивает автомобилю годовой пробег в 10 тыс. миль. Многие из них не связаны с ним непосредственно. Цифры указаны в миллионах калорий и рассчитаны на основе данных Э. Хирста (1973).

большими энергозатратами, мышление является процессом, где используются высококачественные формы энергии; ум и знание концентрируют в себе потенциальную энергию. Энергия позволяет осуществить различные виды работ и является конечной причиной всех форм деятельности человека — его мышления, его эстетических чувств и пр.

Глава 3 ЗАКОНЫ ЭНЕРГИИ

Энергетические процессы подчиняются некоторым законам, которые выполняются без каких-либо исключений на Земле. Эти законы помогают понять действующие на нашей планете ограничения, относящиеся как к жизни человека, так и к явлениям природы. Чтобы выработать общую точку зрения на наше будущее, планы и предположения, которые мы строим, а также на связь энергии с экономикой нашего общества, необходимо изучить эти законы. Их проще понять, если воспользоваться энергетическими диаграммами, подобно той, что приведена на рис. 3. Мы уже говорили об энергетических потоках, подчиняющихся законам природы. В данной главе мы рассмотрим эти законы более конкретно.

Принцип 1 — Закон сохранения энергии

Формулировка этого важнейшего закона следующая: энергия, поступающая в систему, либо накапливается в ней, либо выносится из нее. Энергию нельзя ни создать, ни уничтожить¹. Например, на рис. 3 энергия получена из нескольких источников и включает энергию различных веществ, выход энергии из данной системы вместе с продажей продуктов питания и рассеянием тепловой энергии;

¹ При ядерных процессах (например, при атомном взрыве) энергия может порождаться в результате распада вещества, но такие процессы в земных условиях очень редки.

последняя является энергией низкого качества. Солнечная энергия, поступающая на Землю, рассеивается и в форме невидимого теплового излучения (см. рис. 7). Все предметы при нагревании испускают энергию, которую мы называем излучением. Энергию, испускаемую горячими предметами, можно видеть; мы называем ее световой энергией. Лучи, испускаемые теплыми предметами, невидимы; иногда их называют тепловым излучением. Каждый, очевидно, мог ощущать тепловое излучение, находясь у нагретой стены. Если отвлечься от аккумуляции солнечной энергии, осуществляемой в разное время года различным образом, то энергия, отдаваемая Землей в виде теплового излучения, равна энергии, поступающей на Землю с солнечным светом.

Принцип 2 — Закон деградации энергии

Этот закон можно сформулировать следующим образом: во всех процессах некоторая часть энергии теряет свою способность совершать работу и ухудшает свое качество. На рис. 5 и 11 необходимая деградация и рассеяние (вместе с тепловыми потерями) используемой энергии обозначены стрелкой, направленной вниз. Используя условное обозначение тепловых потерь в энергетических диаграммах, мы уже характеризуем все процессы, подчиняющиеся второму закону энергии.

Энергия, способная совершать работу, называется потенциальной энергией; энергия, уже совершившая работу, теряет свою ценность и уже не может использоваться. Большинство людей, полагая, что энергия, необходимая для движения автомобиля, тождественна энергии, получаемой при сжигании бензина в двигателе, фактически имеют в виду потенциальную энергию. Когда люди говорят, что энергия «использована», они подразумевают, что потенциальная энергия, способная совершить работу, превратилась в энергию худшего качества, обычно рассеиваемую в виде тепла.

Таким образом, большинству людей второй закон энергии хорошо известен. Мы привыкли к тому, что пищу и топливо можно потреблять только один раз. Энергия, способная совершать работу, не может после ее совершения обеспечить повторное осуществление этой работы. Иными словами, потенциальная энергия не может быть использо-

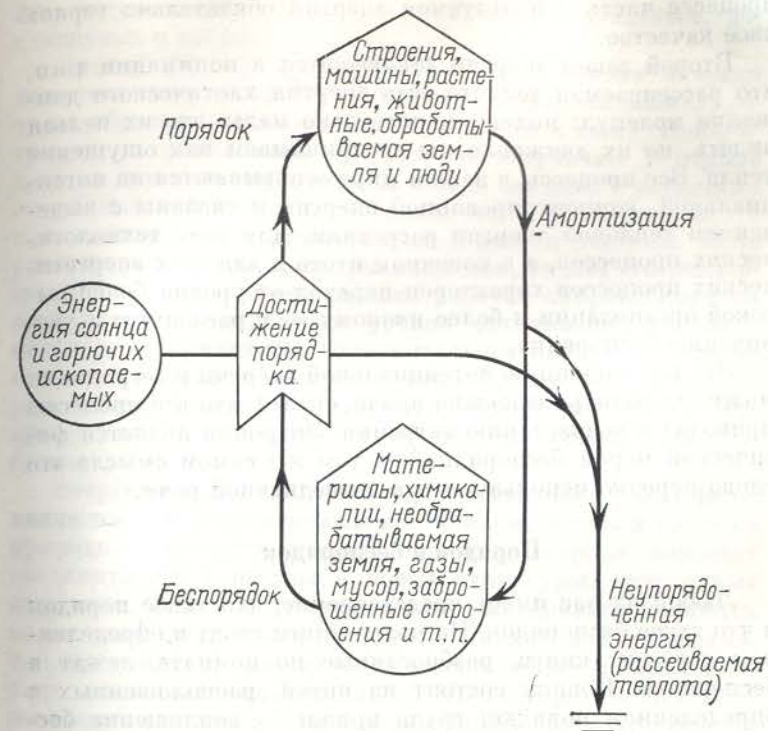


Рис. 11. Цикл «порядок — хаос» на сельскохозяйственной ферме.

вана многократно. Хотя, согласно первому закону, количество поступающей энергии равно количеству затраченной, но по завершении любого рабочего процесса большая часть энергии теряет свою способность совершать работу. На рис. 5 показано, что производство продуктов питания связано с понижением качества большей части потенциальной энергии, участвующей в процессе, и превращением ее в тепловую энергию, рассеиваемую в окружающей атмосфере, обладающей более низкой температурой. Какая-то часть энергии сохраняется в виде высококачественной энергии, заключенной в продуктах питания. Согласно второму закону, количество высококачественной энергии, являющейся результатом производственных процессов, меньше, чем общее количество поступившей энергии. При любом

процессе часть используемой энергии обязательно теряет свое качество.

Второй закон энергии заключается в понимании того, что рассеиваемая теплота есть энергия хаотического движения молекул: молекулы настолько малы, что их нельзя видеть, но их движение мы воспринимаем как ощущение тепла. Все процессы в нашем мире основываются на потенциальной, концентрированной энергии и связаны с выделением тепловой энергии рассеяния. Для всех технологических процессов, а в конечном итоге и для всех энергетических процессов характерен переход от уровня более высокой организации к более низкому — к рассеянию и увеличению беспорядка.

Эту же тенденцию потенциальной энергии к деградации можно выразить несколько иначе, сказав, что все процессы приводят к возрастанию энтропии. Энтропия является физической мерой беспорядка¹; в том же самом смысле это слово нередко используют и в повседневной речи.

Порядок и беспорядок

Любой из нас имеет представление, что такое порядок и что такое беспорядок. На полке книги стоят в определенном порядке; книги, разбросанные по комнате, лежат в беспорядке. Коврик состоит из нитей, расположенных в определенном порядке; груда пряжи — воплощение беспорядка. Здание есть воплощение порядка; материалы лежат на строительной площадке в относительном беспорядке. В книге слова упорядочены; карточки детского лото с напечатанными на них словами беспорядочно перемешаны. Когда люди вступают в социальные отношения, возникает порядок, проявляющийся как в совместном выполнении

¹ Энтропия определяется количеством теплоты, необходимой для изменения температуры от абсолютного нуля (когда отсутствует какое-либо движение молекул, т. е. имеет место максимальная упорядоченность) до наблюдаемой температуры, определяемой по шкале Кельвина. Изменение энтропии равно отношению приращения теплоты в Калориях к температуре по шкале Кельвина. Температура по шкале Кельвина равна температуре по шкале Цельсия плюс 273°. Это отношение теплоты к температуре падает, когда система отдает теплоту, и возрастает, когда теплота добавляется в систему, но во всех случаях прирост энтропии больше, чем ее потеря.

нии задуманного, так и в запоминании результатов, достигнутых в прошлом.

Другой формой выражения второго закона энергии является следующая формулировка: упорядоченные структуры, образцы и планы имеют тенденцию к хаосу. Концентрацию и организацию обычно рассматривают в отрыве друг от друга, но эти процессы всегда связаны с затратами потенциальной энергии, рассеяние которой увеличивается при уменьшении уровня упорядоченности системы. Если уровень упорядоченности уменьшается, то для его поддержания, т. е. для осуществления работы, направленной на сохранение определенного уровня организации системы, необходимо приложить дополнительное количество потенциальной энергии — без этого нельзя ни соткать ковра, ни расставить книги, ни написать фразу, ни напечатать книгу, ни поддержать устойчивость социальной системы.

Энергетические потоки, пронизывающие биосферу, являются тем неиссякаемым источником, который из хаоса природных веществ создает порядок. Энергия помогает соединять эти вещества в новые структуры, наделенные порядком. Такие неупорядоченные материалы являются конечными продуктами природных циклов, или отбросами, т. е. предметами, пришедшими в непригодное для дальнейшего использования состояние. Кругооборот веществ — неотъемлемая часть функционирования как естественных экологических систем (например, леса и моря), так и систем, созданных человеком, особенно в условиях, когда отсутствуют крупные внешние источники и ресурсы энергии.

На рис. 11 приведена энергетическая диаграмма, характеризующая соотношение порядка и беспорядка при возникновении и разрушении различных систем. Например, строения фермы, урожай каких-либо культур формируются из неупорядоченных вначале материалов и веществ. Со временем они снова приходят в беспорядок — строения разрушаются, а урожай потребляется. Для повышения уровня порядка внутри системы необходимы дополнительные затраты энергии. При понижении этого уровня энергии теряют свое качество и обесцениваются. Порядок, создаваемый энергетическими потоками, связан с повышением качества энергии.

Принцип 3 — Максимальное использование энергии обеспечивает выживание систем

Данный закон объясняет, почему одни системы выживают, а другие погибают. Согласно закону максимизации энергии, в соперничестве с другими системами выживает та из них, которая использует большее количество энергии и потребляет ее наиболее эффективным образом.

Рассмотрим для примера ферму, подобно изображенной на рис. 1. Ферма, на которой урожай убирают в самый лучший по метеорологическим условиям (дождь, солнце) период, применяют лучшие удобрения, ускоряющие рост злаков, и выращивают те культуры, которые пользуются наибольшим спросом, обеспечивают достаточный доход для того, чтобы фермер хорошо жил и мог из года в год возобновлять сельскохозяйственное производство. Система хозяйствования, принятая удачливым фермером, закрепится и станет образцом для подражания. В результате закрепятся (выживут) те фермы, на которых система хозяйствования обеспечивает максимизацию энергетических потоков. Данный принцип известен как принцип конкурентной борьбы между коммерческими предприятиями. Из двух фирм, изготавливающих автомобильные шины, уцелеет та, что производит шины лучшего качества и по меньшей цене: у нее будут более высокие цифры сбыта и на полученный доход она сумеет приобрести больше дополнительной энергии. Бизнесмен, успешно ведущий свои дела, максимизирует приток энергии и изготавливает больше продукции.

Принцип максимизации энергии регулирует также жизнь леса. В любом лесу выживают деревья тех видов, которые наилучшим образом используют солнечную энергию, энергию дождя и питательных веществ почвы; тем самым они наилучшим образом поддерживают жизнедеятельность леса в целом. Остальные виды и сочетания видов вымирают.

Принцип максимизации энергии можно выразить также следующим образом: в соперничестве между собой выживают те системы, которые наилучшим образом способствуют как поступлению энергии, так и ее использованию для нужд системы. С этой целью система: 1) создает накопители (хранилища) высококачественной энергии; 2) затрачивает часть накопленной энергии на обеспечение

поступления новой энергии; 3) обеспечивает кругооборот различных веществ; 4) создает механизмы регулирования, поддерживающие устойчивость системы и ее способность приспособления к изменяющимся условиям; 5) налаживает с другими системами обмен, необходимый для обеспечения потребностей в энергии специальных видов.

Обратная связь

Только что мы говорили, что выживают те системы, которые способны максимально использовать поступающую энергию. Эта максимизация возможна лишь при условии, что некоторая часть поступающей высококачественной энергии будет сохраняться в системе в виде упорядоченных структур — сооружений, информации, технологических процессов, производственных навыков и т. п. Эти «аккумуляторы» энергии должны быть устроены таким образом, чтобы они могли способствовать увеличению притока энергии и сохранению системы в течение длительного времени в рабочем состоянии. Сказанное можно проиллюстрировать графически (см. рис. 12). От источника E энергия поступает в систему, где в результате процесса A часть этой энергии улучшается по качеству, превращаясь в поток изделий B , передаваемых в хранилище C . Из хранилища C часть высококачественной энергии (в виде тех же изделий или в ином виде) по петле обратной связи D вновь поступает на вход системы, стимулируя в точке A приток большего количества энергии, в результате чего процесс выработки высококачественной энергии продолжается и развивается. Если источник E обеспечивает достаточный расход энергии, ее количество в хранилище C продолжает увеличиваться до момента, когда приток энергии уравнивается с ее выходом. Устойчивое состояние системы достигается при равновесии потоков энергии на входе и выходе системы.

Заметим, что поток энергии из хранилища C , движущийся на главный поток энергии от источника E , движется в направлении D , указанном стрелкой, справа налево, то есть навстречу главному потоку B , который движется слева направо. Если энергия из какого-либо «аккумулятора» вновь направляется на создание энергии, то взаимодействие этих потоков энергии осуществляется с помощью механизмов обратной связи. Принцип, согласно которому та система побеждает в соперничестве, которая максими-

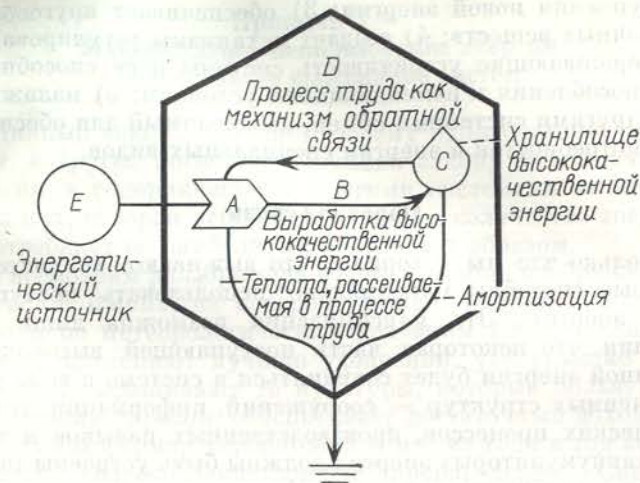


Рис. 12. Гомеостатические системы с обратной связью.

зирует использование своих энергетических ресурсов, предполагает наличие в системе по меньшей мере одной обратной связи. Как показано на рис. 12, путь главного энергетического потока *B* и петля обратной связи *D* образуют замкнутый контур, что и позволяет направить часть энергии обратно — в решающие потоки энергии.

Обратная связь характерна для всех систем, существующих в природе и человеческом обществе. Обратные связи, наилучшим образом обеспечивающие поддержание потока энергии, необходимы для выживания системы в условиях непрерывного соперничества с другими системами. Между системами всегда существуют определенные различия, т. е. открывается возможность выбора наиболее жизнеспособной из них; эта система выживает и побеждает другие.

Обратная связь предполагает наличие в системе иных форм связи. Поток *B* делает возможным возникновение потока обратной связи *D*. В свою очередь обратная связь *D*, передавая высококачественную энергию на вход *A* основного потока, способствует увеличению последнего. Таким образом, замкнутый контур в целом (*B* и *D*) возникает как взаимодействие двух потоков, направленных в противоположные стороны, т. е. эти потоки не могут суще-

ствовать друг без друга. Деградация энергии, неразрывно связанная с рассеянием энергии, поступающей на вход системы, возмещается той высококачественной энергией, потоки которой выступают в качестве обратной связи. Если бы этого возмещения не было, система не могла бы оптимально потреблять энергию или же тратила бы энергию без пользы.

Системы, накапливающие энергию

Рис. 13а иллюстрирует действие основных законов энергии. Согласно Первому закону (сохранения энергии), при ежедневном поступлении в систему 100 Калорий энергии такое же количество энергии покидает ее — 90 Калорий рассеивается в ходе производственного процесса, а 10 Калорий выделяется в виде отходов из накопителей высококачественной энергии. Согласно второму закону (деградации энергии), в любом процессе часть энергии рассеивается в виде тепла и не может более выполнять полезную работу. На рис. 13а показано два процесса: первый из них — это процесс повышения уровня упорядоченности системы, а второй — хранение высококачественной энергии. Согласно третьему закону (максимизации энергии), жизнеспособность системы повышается при максимальном развитии накопителей высококачественной энергии и механизмов обратной связи, позволяющих увеличить поступление энергии. Некоторая часть накопленной энергии используется для подключения в систему дополнительной энергии извне.

В мире много подсистем, обладающих одной или несколькими из этих черт — накоплением энергии, ухудшением ее качества и обратной связью. На рис. 13б и 13с изображены две системы, иллюстрирующие ту общую модель, которая приведена на рис. 13а. На первом рисунке — город как система, производящая машины и предоставляющая услуги, с гидроэлектростанциями, вырабатывающими электроэнергию для нужд города. На втором рисунке — овца, пасущаяся на лугу. Обе системы накапливают энергию и используют ее для получения дополнительной энергии.

Еще один пример системы с обратной связью приведен на рис. 2: многообразные накопители преобразованной энергии (растения, сельскохозяйственные постройки, люди, информация и домашний скот), которые, усваивая солнеч-

ный свет, воду, удобрения и энергию из других источников, обеспечивают функционирование фермы, производящей продукты питания на продажу.

Выживание систем связано с повышением уровня организации процессов, связанных с потреблением энергии. Мы отмечали, что наличие обратной связи — необходимое условие выживания системы. Столь же важно и наличие накопителей высококачественной энергии. Выживает та система, которая развивает большее число структур, обеспечивающих повышение уровня ее организации. Например, для успешного ведения фермерского хозяйства необходимы строения, календарь сезонных работ, дороги, средства реализации продукции, знание конъюнктуры, и опытный фермер все это знает. Все эти способы организации и материалы, изображенные на рис. 2, — необходимое условие успешного функционирования фермы. Успешное функционирование системы, конкурирующей с другими системами в производстве и потреблении энергии, предполагает повышение уровня организации системы. Согласно второму закону, энергия должна терять свое качество, а согласно третьему закону, система может успешно функционировать лишь в том случае, если в ней созданы и поддерживаются многообразные способы аккумуляции концентрированной энергии. Например, системная организация города выражается в определенной структуре его строений и в его социальной структуре (рис. 13), организация биологической системы на рис. 13с иллюстрирована целостностью организма овцы.

Можно говорить и о метеорологических системах, действующих в атмосфере. Например, увеличение при грозе энергии влажного воздуха приводит к штормам, которые оказываются главным фактором, определяющим метеорологические условия большого региона. Порядок здесь представлен картиной облачности и распределения воздушных масс по высоте.

Условные обозначения самоподдерживающихся процессов

Вышеописанные три закона энергии требуют, чтобы во всех системах и подсистемах нашего мира сохранялось равновесие между поступлением и отдачей энергии; это равновесие — необходимое условие существования каждой системы. Определенная часть энергии должна понизить свое

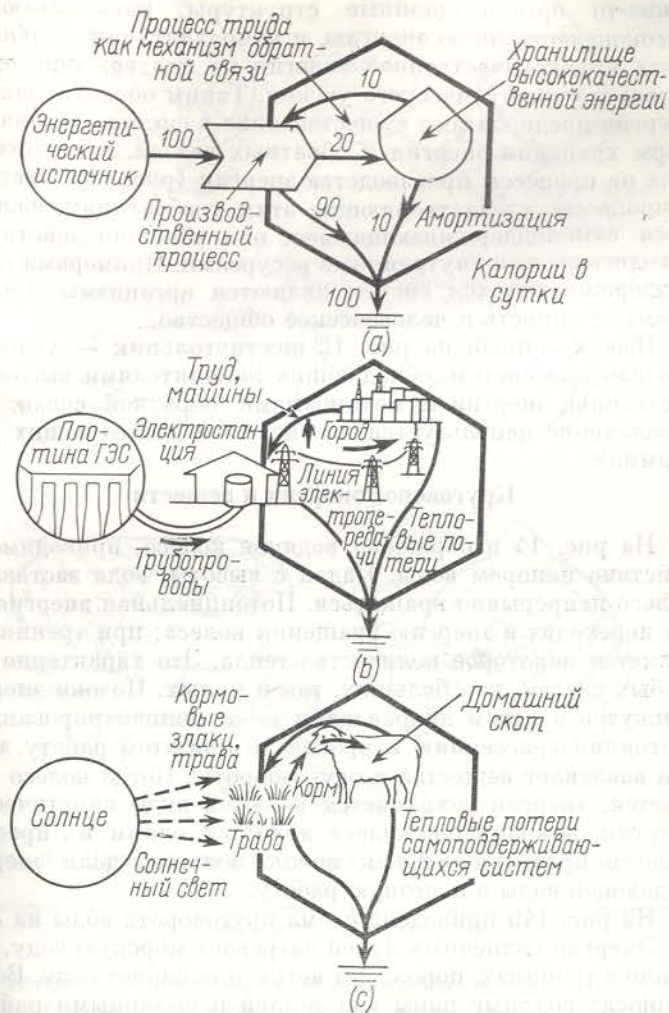


Рис. 13. Примеры систем, обладающих механизмами накопления энергии, обратной связи и гомеостазиса, обеспечивающих максимизацию потребляемой энергии, т. е. повышение шансов системы на выживание.

качество, причем в каждой системе необходимо создать какие-то организационные структуры, накапливающие высококачественную энергию, и направлять определенную часть высококачественной энергии на поддержание определенного энергетического уровня. Таким образом, законы энергии предполагают существование в системе различных форм хранения энергии и обратных связей, воздействующих на процессы производства энергии (рис. 12). Системы и процессы, удовлетворяющие этим требованиям, называются самоподдерживающимися: они успешно действуют, обходясь своими внутренними ресурсами. Примерами самоподдерживающихся систем являются организмы, города, промышленность и человеческое общество.

Изображенный на рис. 12 шестиугольник — условное обозначение систем, обладающих накопителями высококачественной энергии и механизмами обратной связи. Это обозначение используется на рис. 13 и последующих диаграммах.

Круговорот энергии и веществ

На рис. 14 изображено водяное колесо, приводимое в действие напором воды. Падая с высоты, вода заставляет колесо непрерывно вращаться. Потенциальная энергия воды переходит в энергию вращения колеса; при трении выделяется некоторое количество тепла. Это характерно для любых систем, как больших, так и малых. Потоки энергии движутся в одном направлении — от концентрированного состояния к рассеянию, а, производя при этом работу, энергия вовлекает вещества в кругообороты. Когда колесо вращается, энергия сохраняется в нем в виде кинетической энергии, а вращение колеса является одним из простых средств превращения как можно большей доли энергии падающей воды в полезную работу.

На рис. 14b приведена схема круговорота воды на Земле. Энергия солнечных лучей нагревает морскую воду, особенно в тропиках, порождает ветры и испаряет воду. Ветры разносят водяные пары над землей и полярными районами. В виде дождя и снега вода выпадает обратно на землю. Ледники и реки вновь уносят ее в море. Здесь круговорот воды поддерживается непрерывно поступающей солнечной энергией, часть которой затем рассеивается в виде худшей по качеству, бесполезной тепловой энергии. Водяные пары, поднимающиеся в воздух, обладают некоторой энергией, и

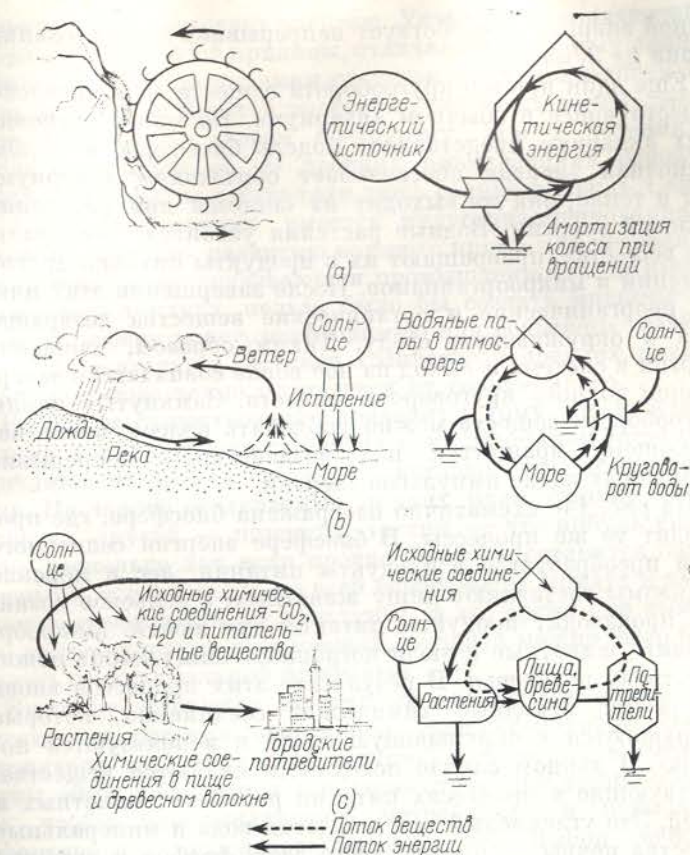


Рис. 14. Влияние энергетических потоков на круговорот веществ:

а) водяное колесо; б) круговорот воды в природе; в) биохимический цикл растения — животные.

эта энергия обеспечивает возвращение воды в море, где она начинает новый цикл круговорота. Кроме того, здесь имеется потенциальная химическая энергия, обусловленная различием между пресной и соленой морской водой. Механизм действия круговорота воды в чем-то аналогичен вращению колеса; для того чтобы оно продолжало вращаться, надо непрерывно подводить извне добавочную энергию. Круговорот воды, вовлекая значительное количество сол-

качество, причем в каждой системе необходимо создать какие-то организационные структуры, накапливающие высококачественную энергию, и направлять определенную часть высококачественной энергии на поддержание определенного энергетического уровня. Таким образом, законы энергии предполагают существование в системе различных форм хранения энергии и обратных связей, воздействующих на процессы производства энергии (рис. 12). Системы и процессы, удовлетворяющие этим требованиям, называются самоподдерживающимися: они успешно действуют, обходясь своими внутренними ресурсами. Примерами самоподдерживающихся систем являются организмы, города, промышленность и человеческое общество.

Изображенный на рис. 12 шестиугольник — условное обозначение систем, обладающих накопителями высококачественной энергии и механизмами обратной связи. Это обозначение используется на рис. 13 и последующих диаграммах.

Круговорот энергии и веществ

На рис. 14 изображено водяное колесо, приводимое в действие напором воды. Падая с высоты, вода заставляет колесо непрерывно вращаться. Потенциальная энергия воды переходит в энергию вращения колеса; при трении выделяется некоторое количество тепла. Это характерно для любых систем, как больших, так и малых. Потоки энергии движутся в одном направлении — от концентрированного состояния к рассеянию, а, производя при этом работу, энергия вовлекает вещества в кругообороты. Когда колесо вращается, энергия сохраняется в нем в виде кинетической энергии, а вращение колеса является одним из простых средств превращения как можно большей доли энергии падающей воды в полезную работу.

На рис. 14b приведена схема круговорота воды на Земле. Энергия солнечных лучей нагревает морскую воду, особенно в тропиках, порождает ветры и испаряет воду. Ветры разносят водяные пары над землей и полярными районами. В виде дождя и снега вода выпадает обратно на землю. Ледники и реки вновь уносят ее в море. Здесь круговорот воды поддерживается непрерывно поступающей солнечной энергией, часть которой затем рассеивается в виде худшей по качеству, бесполезной тепловой энергии. Водяные пары, поднимающиеся в воздух, обладают некоторой энергией, и

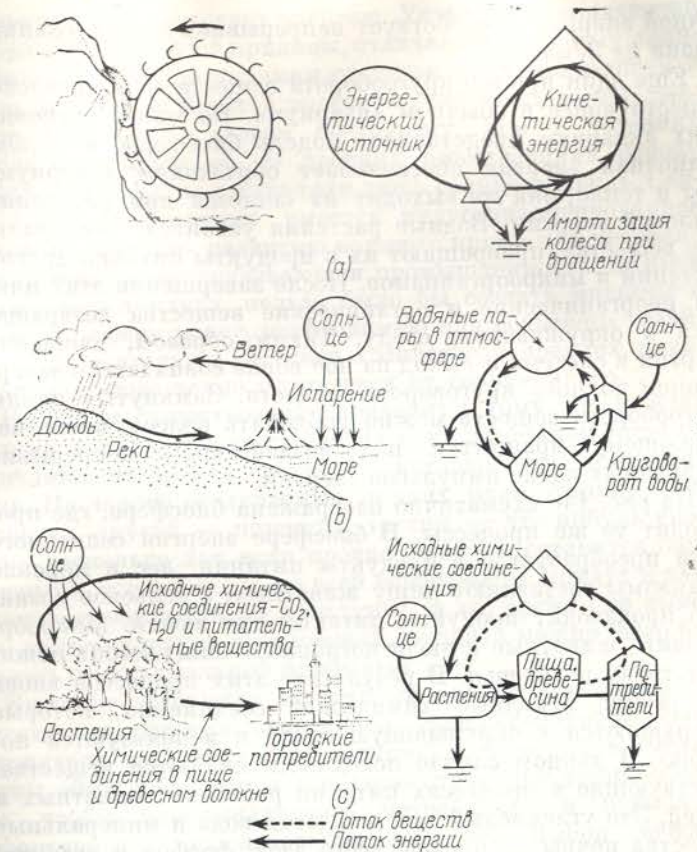


Рис. 14. Влияние энергетических потоков на круговорот веществ:

а) водяное колесо; б) круговорот воды в природе; в) биохимический цикл растения — животные.

эта энергия обеспечивает возвращение воды в море, где она начинает новый цикл круговорота. Кроме того, здесь имеется потенциальная химическая энергия, обусловленная различием между пресной и соленой морской водой. Механизм действия круговорота воды в чем-то аналогичен вращению колеса; для того чтобы оно продолжало вращаться, надо непрерывно подводить извне добавочную энергию. Круговорот воды, вовлекая значительное количество сол-

нечной энергии, способствует непрерывному поддержанию жизни на Земле.

Еще один пример кругооборота веществ — равновесие, существующее в обычном аквариуме. Во многих отношениях аквариум представляет модель биосферы в целом. Солнечная энергия обеспечивает обитателям аквариума свет и тепло; она же выходит из системы при рассеянии тепловой энергии. Водные растения усваивают минеральные вещества, превращают их в продукты питания других растений и микроорганизмов. После завершения этих циклов неорганические и органические вещества возвращаются в окружающую среду. Таким образом, движение энергии в системе и выход из нее вовне совпадают с завершением полного круговорота веществ. Замкнутые циклы кругооборота веществ можно уподобить колесу, вновь начинающему вращаться под воздействием непрерывно подаваемых извне импульсов энергии.

На рис. 14с схематично изображена биосфера, где происходят те же процессы. В биосфере энергия солнечного света преобразуется в продукты питания; лес и морские организмы составляют пищу животных, а сельское хозяйство производит продукты питания для людей. Микроорганизмы, животные и люди поглощают пищу, огонь пожирает траву и деревья. В результате этих процессов вновь получаются исходные химические соединения, которые возвращаются в окружающую среду и используются повторно. В данном случае исходными являются вещества, участвующие в процессах питания растений, животных и людей. Это углекислый газ, дождевая вода и минеральные вещества почвы — прежде всего азот, фосфор и углекислый калий. Круговорот всех этих веществ поддерживается поступлением солнечной энергии. В конечном счете и растения, и животные, и наши города существуют лишь благодаря солнечной энергии. Круговорот веществ составляет неотъемлемую часть кругооборота энергии на Земле. В ходе биологических циклов живые организмы накапливают энергию, что обеспечивает устойчивость энергетических потоков и гармонию в жизни биосферы.

Влияние источников энергии на построение систем

В конечном счете построение любой системы, существующей на Земле, определяется тем, от каких внешних

источников она получает энергию. Устье реки, впадающей в море, где действуют приливы, отличается по своему ландшафту и живым организмам от устья реки, впадающей в озеро. В системе, богатой энергией солнечных лучей, растения развиваются совсем по-другому, чем в условиях холода и нехватки ее. В древних цивилизациях основу сельского хозяйства составляли лишь солнце и дождь. Сейчас во многих странах имеется индустриализированное сельское хозяйство, развитию которого прямо или косвенно способствует энергодобывающая промышленность: не имея ископаемого топлива, нельзя было бы создать машины и развивать сферу услуг, необходимую для сельского хозяйства. Следовательно, сельское хозяйство в древних цивилизациях существенно отличается от современного.

Борьба за существование приводит к тому, что каждая система, использующая специфические источники энергии, отличается от других систем, у которых эти источники иные. На заново осваиваемых землях один фермер сеет кукурузу, другой — пшеницу, третий — что-нибудь еще. Через несколько лет, если прочие факторы останутся одинаковыми, все фермеры, по всей вероятности, придут к разведению одной и той же культуры: за это время они выяснят, какая культура дает урожай, который можно было бы продать с максимальной прибылью.

Внешние источники энергии составляют основу любой системы, и система постепенно приспосабливает свои накопители энергии, циклы кругооборота веществ, механизмы обратной связи и всю свою структуру таким образом, чтобы максимизировать потребление и повысить эффективность использования энергии. Выбор между различными возможными путями достигается методом «проб и ошибок», т. е. является результатом отбора случайных вариаций. Шанс выжить имеют те системы, в которых часть запасенной энергии вновь поступает на вход системы и стимулирует приток энергии.

При изменении условий необходимо определенное время для того, чтобы система могла приспособить свою структуру к новым источникам энергии. Например, изменение климата влечет за собой вторжение новых видов растений, вытесняющих прежние виды. Изменения в характере источников потребляемой энергии сопровождаются изменениями в сельском хозяйстве, промышленности, культуре и всем образе жизни людей. Иногда анализ природы новых

источников энергии дает возможность предсказать, какие изменения могут произойти в человеческом обществе. Например, развитие добычи горючих ископаемых привело к повышению роли транспорта, и наступил «век автомобиля».

Ограниченные и неограниченные источники энергии

Будет ли система расти, зависит от того, в состоянии ли источник энергии поддерживать рост системы или же его возможности настолько ограничены, что обеспечивают лишь поддержание достигнутого уровня ее активности. Большая плотина в состоянии обеспечить практически неограниченный расход воды, т. е. воду из бассейна, созданного такой плотиной, можно перекачивать по любому числу труб небольшого диаметра, и в каждой из них будет поддерживаться одинаковое давление. Первые скважины, пробуренные на крупном месторождении нефти, обладают практически неограниченным дебитом. Мощная электростанция обеспечивает первые подключенные к ней электроприборы практически неограниченным количеством энергии. К подобным источникам можно подсоединить большое число потребителей, прежде чем дальнейшее потребление энергии натолкнется на ограниченность ресурсов данного источника (рис. 15а).

Потенциально неограниченным источникам энергии противостоят источники, обеспечивающие постоянный, но ограниченный по величине расход энергии (рис. 15б). Примерами этого могут быть небольшой ручей, приводящий в действие водяное колесо; нефть, вытекающая через трещину в породе; электроэнергия, поступающая от небольшого генератора. В этих примерах потребитель не может использовать больше энергии, чем то ее количество, которое постоянно производится этим источником. Даже выкачивая энергию из источника, мы ограничены потоком, потребляемым за единицу времени. Пределы роста здесь определены источником энергии. Стремление потребителей получить как можно большее количество энергии иногда называют «спросом». При ограниченных источниках любые попытки удовлетворить растущий спрос на энергию терпят крах. В этом случае нельзя увеличить число потребителей сверх того, на которое хватает энергии. Еще один пример — энергия солнечного света. Лес не может поглотить больше сол-

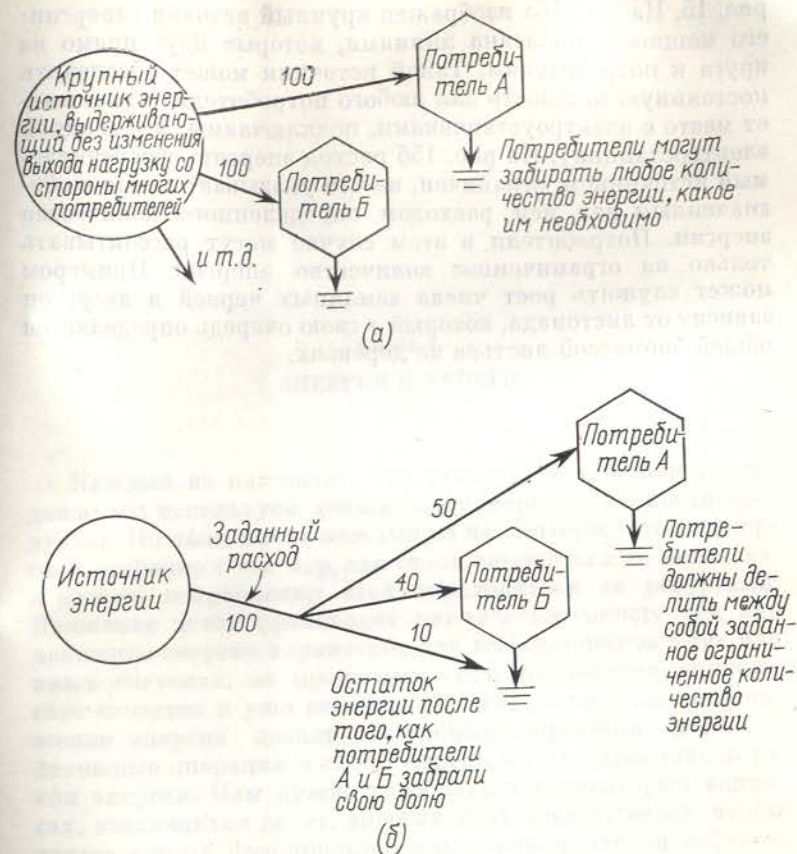


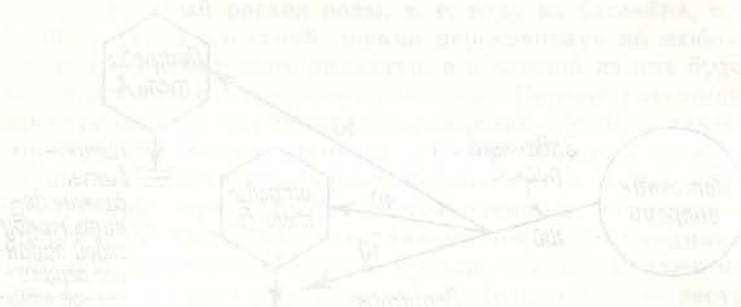
Рис. 15. Сравнение источников энергии с постоянной мощностью и постоянным расходом на выходе:

а) крупный источник, поддерживающий без изменения выходную мощность независимо от нагрузки со стороны многих потребителей; б) ограниченный источник в состоянии поддерживать на выходе лишь постоянный расход энергии.

нечной энергии, чем то, которое ежедневно падает на каждую единицу его площади. Если биомасса листьев достаточна, чтобы поглотить весь этот свет, лес уже ничего больше не может сделать для максимизации воспринимаемого им энергетического потока.

Различие между источниками двух видов можно увидеть на наших энергетических диаграммах, в частности на

рис. 15. На рис. 15а изображен крупный источник энергии; его мощность показана линиями, которые идут прямо из круга к потребителям. Такой источник может обеспечить постоянную мощность для любого потребителя (что и имеет место с электроустановками, подключаемыми к мощной электростанции). На рис. 15б расход энергии, обеспечиваемый источником, ограничен, на что указывает линия с обозначенным над ней расходом определенного количества энергии. Потребители в этом случае могут рассчитывать только на ограниченное количество энергии. Примером может служить рост числа земляных червей в лесу: он зависит от листопада, который в свою очередь определяется общей биомассой листьев на деревьях.

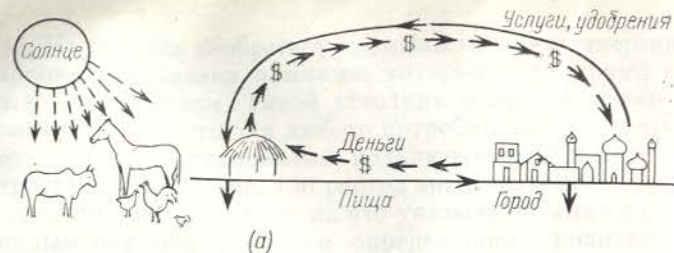


Глава 4 ЭНЕРГИЯ И ДЕНЬГИ

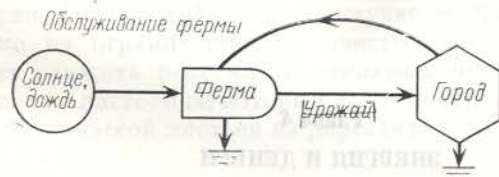
Каждый из нас знает, что такое деньги, купля и продажа; мы используем деньги для измерения ценности продуктов. Но ныне почти каждый из нас интересуется и энергией, особенно с тех пор, как стала ощущаться ее нехватка, а рост ее потребления стал определяться ее ресурсами. Движение денег происходит циклически, между тем как движение энергии характерно для всех процессов в тех или иных системах, за пределами системы энергия снижает свое качество и уже не обладает действенной силой. Движение энергии делает возможным обращение денег, а денежные операции в свою очередь могут управлять потоком энергии. Нам нужно разобраться в некоторых вопросах, касающихся денег, энергии и их взаимосвязей, чтобы лучше понять функционирование экономической системы и те способы, с помощью которых энергия оказывает на нее свое воздействие. В этой главе деньги являются элементом диаграмм, иллюстрирующих взаимосвязь денег и энергии. Мы рассмотрим, каким образом наличие внешних источников энергии регулирует денежное обращение и что происходит при инфляции. В качестве меры ценности мы будем использовать как энергию, так и деньги.

Денежное обращение

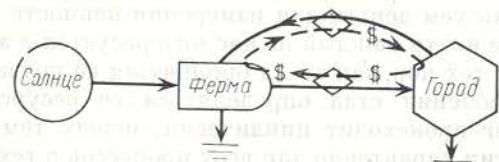
Движение энергии и движение денег противоположны друг другу. Когда произведенные на ферме продукты питания привозят в город на рынок, жители города расплачива-



(a)



(b)



(c)

Рис. 16. Взаимосвязь денежного обращения с энергетическими потоками в процессах обмена между деревней и городом: а) обмен между деревней с примитивным хозяйственным укладом и городом (на примере Индии); б) поток энергии; в) деньги циркулируют в направлении, противоположном движению энергии.

ются с фермером деньгами, которые возвращаются на ферму. Фермер использует деньги для того, чтобы приобрести нужные ему машины и удобрения в городе; тем самым он возвращает деньги в город, расплачиваясь за купленные товары. Как видно из рис. 16, эти взаимоотношения образуют замкнутый цикл: деньги непрерывно циркулируют в этом цикле, энергия высокого качества потребляется и используется для поддержания фермерского и городского хозяйств, но при этом определенная часть энергии необходимо и необратимо рассеивается в форме тепла.

Обмен товарами, включая денежное обращение, требует определенных затрат труда. Большое количество энергии

уходит на поддержание деловой активности, ведение делопроизводства, банковского дела и т. п. Условное обозначение денежного обращения, впервые использованное в гл. 1, показывает, что каждый из упомянутых видов деятельности связан с затратами потенциальной энергии.

Экономические системы призваны, используя имеющиеся в ее распоряжении ресурсы сырья и ископаемого топлива, обеспечить определенный уровень жизни населения. Однако люди — лишь небольшая часть биосферы и таких экологических систем, как океаны, атмосфера, горы, долины, почвы, реки, леса. И в конце концов не люди и не деньги определяют то, что действительно важно, — таким решающим фактором являются мировые запасы энергии. Вот почему неверно все измерять деньгами. Энергия, а не деньги должна стать единицей измерения и оценки, ибо только таким путем мы можем учесть тот вклад, который вносит природа. До тех пор пока природные ресурсы не начали иссякать, люди рассматривали действие сил природы как нечто само собой разумеющееся. На рис. 3 показано взаимодействие различных видов энергии, которые используются фермером при выращивании урожая, включая и закупаемые им виды энергии.

В действительности именно поток энергии регулирует денежное обращение. Денежное обращение является примером круговорота, который создается и зависит от постоянного притока энергии. Круговорот денег, однако, совершается в противоположном направлении по отношению к обычному обращению материальных ценностей. Деньги, переходящие из рук в руки, подобны шарикоподшипникам, которые вращаются в направлении, противоположном вращению маховика: их вращение облегчает в свою очередь вращение маховика. На рис. 16а показано денежное обращение в первобытной сельскохозяйственной общине, существовавшей в различных странах, например в Индии. Ее экономика основана главным образом на использовании солнечной энергии. Продукты питания, созданные в деревне, направляются на рынок — в город. В обмен на них деревня получает ряд услуг и изделий, в частности удобрения, которые включаются в круговорот веществ и облегчают труд фермера.

Обращение денег, вводимых в этот обмен товаров в качестве средства обмена, противоположно по своему направлению движению товаров. Горожане платят деньги сель-

ским жителям за продукты питания, а сельские жители в свою очередь тратят свои деньги на покупку в городе удобрений и услуг. Благодаря тому что движение денег позволяет приобрести определенные товары и услуги, оно способствует также движению материальных потоков, получению и переработке энергии.

В обществе с развитым денежным обращением энергия накапливается в форме информации, денег, технологических знаний и общественных договоров. Функционирование накопителей энергии обеспечивается затратами потенциальной энергии. Существование в системе накопителей энергии способствует улучшению циркуляции денег, материалов и услуг, подключению новой энергии, повышает в целом конкурентоспособность системы. Так, например, денежная система более эффективна, чем система меновой торговли: первая приводится в действие различными потоками энергии, формирует свои собственные организационные структуры и разворачивается в ряде циклов, которые способствуют оптимальному использованию энергии.

Взаимосвязь между потоками денег и энергии станет понятной, если учесть, что деньги обращаются только в том случае, если существует товарообмен и движение энергии. Если в системе количество энергии уменьшается, то и скорость остальных круговоротов уменьшается. Подобно товарным и другим потокам, денежное обращение способствует процессам производства; но при этом само денежное обращение требует определенных затрат труда и, следовательно, включает в себя энергию в качестве необходимого компонента.

Соотношение энергии и денег

Люди тратят деньги тогда, когда их имеют; обращение денег графически можно представить следующим образом (см. рис. 16). Денежное обращение может осуществляться только в том случае, если энергопотоки, характерные для той или иной системы, направлены на поддержание определенного уровня занятости и производства товаров на рынок. Чем больше труда вложено в каждый обращающийся доллар, тем выше его реальная стоимость. В каждый данный момент существует некоторое среднее отношение суммы обращающихся денег к энергетическому потоку. Например, на рис. 17 показано, что в США ежегодно обращается 1,4 триллиона (10^{12}) долл. В течение 1973 г. в

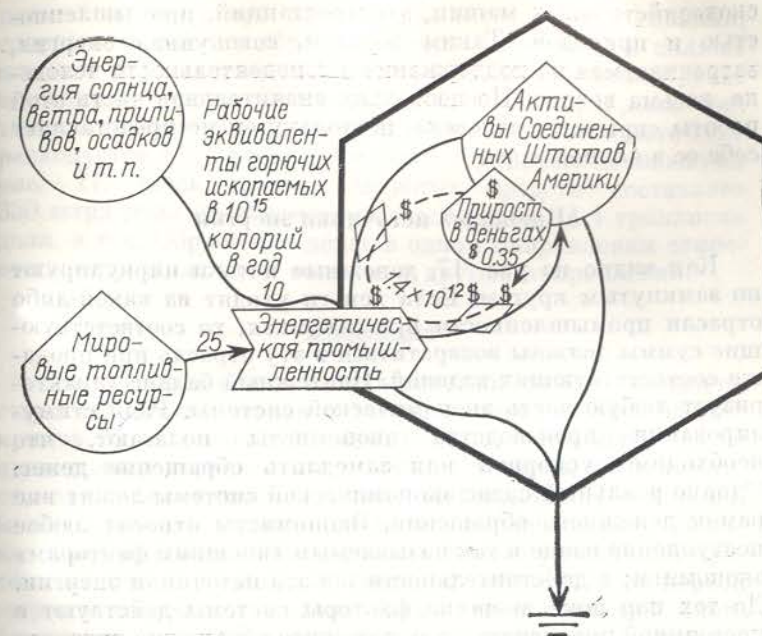


Рис. 17. Энергетические потоки и денежное обращение в США в 1973 г.

США было использовано около $35 \cdot 10^{15}$ Ккал энергии. Отношение этих двух потоков составляет 25 000 Ккал на 1 долл. Естественно, что это соотношение неодинаково в различных частях экономической системы, но мы можем оценить это соотношение, характерное для системы в целом.

Это соотношение позволяет показать, какое количество энергии необходимо использовать для поддержания деловой активности. Представим себе, что некто зарабатывает и тратит 10 000 долл. в год. Умножив эту величину на 25 000 Ккал., мы найдем, что для поддержания жизнедеятельности этого человека затрачивается труд, эквивалентный 250 млн. Ккал. Далее, его личный годовой бюджет, затрачиваемый на приобретение продуктов питания, можно выразить в энергетических эквивалентах; он составляет около 1 млн. Ккал. Разность между двумя этими величинами характеризует собой энергию, созданную работой сель-

скохозяйственных машин, электростанций, промышленности и природой. Таким образом, совокупная энергия, затрачиваемая на поддержание жизнедеятельности человека, весьма велика. Но поскольку значительная часть этой работы скрыта от человека, постольку он не представляет себе ее в полной мере.

«Внешние» источники энергии

Как видно из рис. 17, денежные потоки циркулируют по замкнутым кругам. Если деньги уходят из какой-либо отрасли промышленности при закупках, то соответствующие суммы должны возвратиться в эту отрасль при продаже соответствующих изделий. Платежный баланс характеризует любую часть экономической системы. Ради стимулирования производства экономисты полагают, что необходимо ускорить или замедлить обращение денег. Однако реальный базис экономической системы лежит вне рамок денежного обращения. Экономисты относят любое поступление извне к так называемым «внешним факторам» экономики; в действительности же это источники энергии. До тех пор пока внешние факторы системы действуют с постоянной интенсивностью, денежное обращение является главным фактором регулирования экономической системы (см. рис. 17). Однако если действие внешних факторов непостоянно, с чем мы сталкиваемся в том случае, когда наличные запасы энергии изменяются, состояние экономики меняется таким образом, что ее показатели, по существу, становятся независимыми от каких-либо операций в сфере денежного обращения. Из рис. 17 видно, что уменьшение запасов внешнего для системы источника энергии, обозначенного на нем как «мировые топливные ресурсы», приводит к изменению соотношения между денежными потоками и потоками энергии в пределах данной системы.

Цикл денежного обращения

В экономической системе, основанной на денежном обращении, какое-то количество денег находится в постоянном обороте. В любой точке этого круговорота денег интенсивность их расходования увеличивается, когда сумма наличных денег увеличивается. Денежное обращение совершается достаточно быстро: в США деньги совершают

полный оборот около четырех раз в год, иными словами, скорость денежного обращения составляет четыре полных цикла в год. Например, если сумма обращающихся денег в стране составляет 250 млрд. долл. и 250 млрд. долл. тратится в течение одного квартала, то в течение одного года расходуются 1 триллион. Денежное обращение показано на рис. 17, здесь сумма денежных средств составляет 350 млрд. долл. и скорость расходования — 1,4 триллиона долл. в год. Обращение денег в одном направлении сопровождается движением энергии в другом направлении.

Инфляция

Покупательная способность денег определяется количеством реальных товаров и услуг, которые можно на них купить. Если деньги обесцениваются в такой мере, что на один доллар можно купить меньше товаров, то такое состояние в экономике называют инфляцией. К инфляции может привести увеличение массы обращающихся денег, которое происходит без соответствующего увеличения притока энергии и объема выполненной работы. После первой мировой войны в Германии было отпечатано так много бумажных денег, что деньги почти полностью обесценились: за одну буханку хлеба надо было отдать целую тачку денег. Инфляция может быть также вызвана уменьшением затрат общественного труда без соответствующего уменьшения массы обращающихся денег. Когда энергии не хватает и увеличить производительность человеческого труда с помощью машин представляется затруднительным, количество затраченного обществом труда уменьшается, в то время как масса обращающихся денег остается той же самой. Следовательно, один доллар соответствует меньшему объему затраченного труда, и поэтому ценность его уменьшается.

В последние годы Федеральное правительство США произвольно увеличивало количество обращающихся денег, с тем чтобы обеспечить более надежное функционирование экономической системы. Введение в оборот небольшой дополнительной суммы денег стимулировало более интенсивное их расходование, что позволило начать осуществление ряда новых проектов. Это приводило к росту экономики. Введение в обращение добавочных сумм денег стимулировало рост и вызывало приток в экономическую

систему новой энергии, которая соответственно увеличивала объем произведенной в обществе продукции, до тех пор пока существовали не эксплуатировавшиеся ранее источники энергии ископаемого топлива. Поскольку потребление энергии соответствовало ее производству, введение в оборот новых денег увеличивало спрос на энергию и тем самым интенсивность энергетических потоков; все это в целом приводило к росту экономики. Однако введение в обращение новых денег влекло за собой инфляцию — от 3 до 5% в год. Это в свою очередь уменьшало реальную стоимость сбережений людей, хотя до определенного времени и продолжало стимулировать рост экономики. Инфляция в этом отношении напоминала налог: деньги частных лиц способствовали осуществлению новых правительственных программ.

На рис. 18 показана кривая инфляции за период, примерно равный трем столетиям. Как видно из графика, во время войн существует тенденция к увеличению цен. В военное время большая часть энергии из мирных отраслей производства направляется в военные с целью разрушения, а не создания новых материальных ценностей. Поскольку энергия расходуется непроизводительно, а количество обращающихся денег сохраняется неизменным или увеличивается вследствие того, что правительство вынуждено финансировать военные расходы, количество энергии, приходящейся на один доллар в основных отраслях экономики страны, падает. В 1940 г. в США наблюдалась тенденция к инфляции, связанная с увеличением массы обращающихся денег, выпущенных ради того, чтобы стимулировать производство энергии и постепенно увеличить трудовые затраты, необходимые для выработки единицы энергии в условиях начавшегося истощения крупных источников энергии.

Депрессия и спад

Во время депрессии 1929 г. деловой и финансовый мир с его деньгами, банками, займами, акциями и т. д. был до такой степени подорван, что денежное обращение замедлилось. Люди стремились придержать свои сбережения. Незначительные размеры денежного обращения соответствовали небольшому потоку энергии. Замедлилось производство товаров и услуг, рост экономики прекратился.

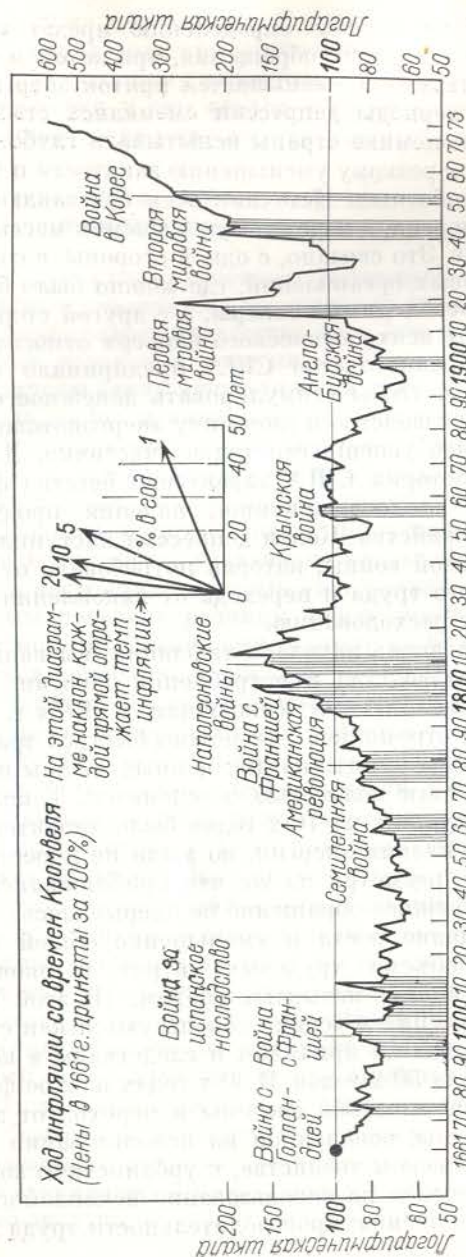


Рис. 18. Ход кривой инфляции с 1651 г. по 1973 г. и влияние на нее войны (Economist, July 13, 1974).

Депрессия по своему определению представляет собой замедление денежного обращения, при котором темпы производства падают и уменьшается приток энергии. В истории США периоды депрессии сменялись стабилизацией. В 1930 г. экономика страны испытывала глубокий кризис, приведший к резкому уменьшению занятости и ухудшению жизни безработных. Источник всех бед заключался не в нехватке энергии, а в резком уменьшении массы обращающихся денег. Это связано, с одной стороны, с сокращением числа торговых организаций, где можно было бы на деньги купить необходимые товары, а с другой стороны, с возникновением психологического барьера относительно траты денег. Правительство США предприняло целый ряд мер для того, чтобы стимулировать денежное обращение, оживить производство и динамику энергопотоков. Эти усилия оказались успешными только частично. Для данного периода в истории США характерно бегство фермеров в города, что явилось причиной падения продуктивности сельского хозяйства. Конец депрессии наступил с началом второй мировой войны, которая потребовала от населения напряженного труда и перехода от накопления денежных средств к их расходованию.

В 1974 г. вновь началась инфляция, вызванная уменьшением производства и потребления энергии. Поскольку деньги обесцениваются (инфляция в 1974 г. составила 12%), люди стремились как можно быстрее тратить деньги, с тем чтобы купить на них ценные товары и услуги до того, как деньги полностью обесценятся. Таким образом, для самых худших из 70-х годов было характерно уменьшение поступления энергии, но люди не переставали тратить деньги, несмотря на то, что приближались тяжелые времена. Денежное обращение не прерывалось.

Прекращение роста и уменьшение общей производительности, объема трудовых затрат и экономической активности иногда называют спадом. (В этой книге термины «депрессия» и «спад» используются как синонимы.) Спад 70-х годов по причинам и следствиям в корне отличался от спада 30-х годов. В 30-х годах плохое функционирование экономической системы и переход от экономической структуры, основанной на использовании солнечной энергии в сельском хозяйстве, к урбанистической структуре, базирующейся на использовании ископаемого топлива, привели к снижению производительности труда до уровня,

который был ниже допустимого. Вопрос о том, приведет ли спад, возникший вследствие уменьшения энергетических ресурсов, к еще большему ухудшению жизни или к стабилизации экономики и тем самым к более благоприятным временам, является для каждого из нас наиболее важным вопросом.

Пределы роста энергии и их влияние на экономику

В 30-х годах стимулирование денежного обращения могло привести к увеличению поступления энергии и росту объема трудовых затрат вследствие того, что в США тогда были крупные источники энергии. В 70-х годах богатые природные запасы таких энергетически значимых ископаемых, как медь, нефть и минеральные удобрения, стали истощаться. Следовательно, возникли новые проблемы, связанные с нехваткой энергии, поэтому увеличение массы обращающихся денег уже не может стимулировать увеличение производства энергии. Когда поступление энергии достигает своего предела, увеличение массы обращающихся денег не в состоянии повысить этот предел.

В гл. 3 мы показали разницу между неограниченным источником энергии (подобному плотине на большой реке, которая может приводить в движение одновременно любое количество турбин) и ограниченным источником энергии (небольшая река, которая может приводить в движение только одну турбину). Когда США имели крупные запасы нефти, осваиваемые по мере необходимости, то увеличение массы обращающихся денег приводило к росту поступающей в экономику энергии. Если же поступление новой энергии в систему может быть осуществлено, то ускорение обращения денег не приводит к эксплуатации новых энергетических источников. Единственным следствием этого будет известное обесценение денег по отношению к энергии. Деньги теперь представляют собой меньший объем трудовых затрат, и мы только увеличиваем инфляцию. На рис. 19 сравниваются эти две ситуации. На рис. 19а показан крупный, относительно неограниченный источник энергии. В этом случае чем больше денег вводится в обращение, тем быстрее осуществляется их расходование и тем большее количество энергии потребляется из источника. На рис. 19b схематически изображен другой случай, когда производство энергии не может быть увеличено из-за огра-

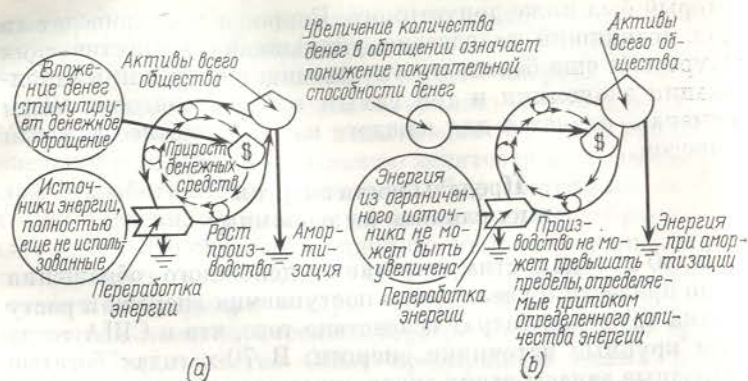


Рис. 19. Сравнение возможностей стимулирования экономики в 1930-х и 1970-х гг. при помощи денег:

а) 1930-е годы: неограниченные запасы энергии, финансовые механизмы застопорены; б) 1970-е годы: эксплуатация ограниченных источников энергии.

ниченности самого источника. Все попытки увеличить производство энергии с помощью увеличения массы обращающихся денег и ускорения их расходования не могут привести к успеху. Производство энергии осуществляется в одинаковом темпе. Денежный поток, однако, увеличился, и деньги обесценились, поскольку на каждый доллар теперь можно купить меньше энергии. От этого страдают прежде всего люди, имевшие сбережения, потому что на свои деньги они теперь могут купить меньше, чем они рассчитывали, и меньше, чем тогда, когда они заработали эти деньги.

Основные активы

Ранее приведенные диаграммы, схематически изображающие различные энергетические системы, включают в себя компоненты, которые характеризуют богатство общества (построенные здания, люди, запасы продовольствия, информация, культура, образование, память и вообще все, что полезно, ценно или может обесцениться, если не принять определенных мер). Все эти виды ценностей являются частью наших активов; иногда мы называем их основными активами (см. рис. 17). Именно из этих фондов мы черпаем средства для продолжения ранее начатой деятель-

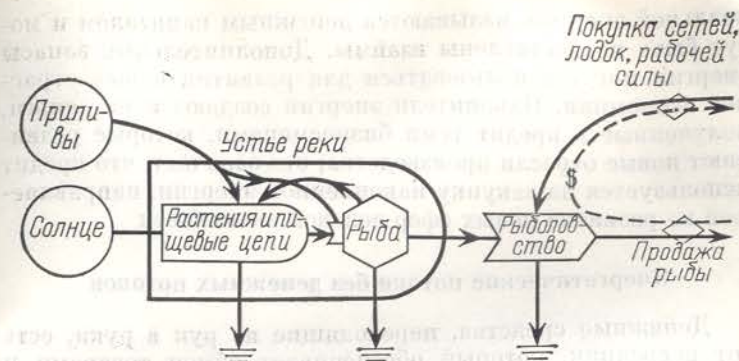


Рис. 20. Полезная для рыбного промысла работа, осуществляемая в эстуариях; деньги в этот процесс не включаются до тех пор, пока рыба не поймана.

ности и новую энергию для деловой активности в новых сферах. Накопление основных активов происходит тогда, когда энергия производительного труда превосходит энергию, воплощенную в созданных материальных благах, расходуемую при амортизации и различных потерях. (См. потоки, изображенные на рис. 19.) Основные активы накапливаются в процессе роста экономики и поддерживаются на определенном уровне благодаря непрерывным потокам товаров, услуг, информации, поступающих в систему и замещающих расходы накопленной энергии. Рост тех или иных продуктов характерен для всех систем, например эстуария, в котором размножается рыба, в лесу, в котором выросли новые деревья, и в экономике, созданной человеком, когда строятся новые здания, рождаются новые поколения людей и растет богатство городов.

Если система обладает источниками энергии, необходимой для роста, и ее рост действительно осуществляется, увеличивая накопления, которые мы и называем основными активами, то создаются все возможности для подключения в систему добавочного количества новой энергии. Экономика, располагающая запасами энергии, может ввести в обращение дополнительные денежные резервы, сохраняя в то же время отношение массы обращающихся денег к энергии постоянным.

Денежные средства, накопленные наряду с запасами

реальной энергии, называются денежным капиталом и могут быть предоставлены займы. Дополнительные запасы энергии могут использоваться для развития новых отраслей экономики. Накопители энергии создаются на деньги, полученные в кредит теми бизнесменами, которые развивают новые отрасли производства; это означает, что кредит используется на закупку накопленной энергии, направляемой на развитие новых сфер деловой активности.

Энергетические потоки без денежных потоков

Денежные средства, переходящие из рук в руки, есть тот посредник, который обеспечивает обмен товарами и услугами. Однако в природных экологических системах (например, леса) нет обмена денежными средствами. На рис. 20 изображена система, обеспечивающая рыбный промысел, ловлю рыбы на продажу. Большая часть энергии, воплощенной в ценных для человека продуктах питания, — это солнечная энергия, энергия приливов и атмосферы. Лишь на завершающих стадиях этого процесса, например после продажи улова рыбы, появляются деньги, которые есть лишь мера, характеризующая труд рыбаков, но не продуктивность эстуария. Иными словами, продуктивность не может быть оценена с помощью денег. Энергия же позволяет оценить все условия производства тех или иных продуктов, как труд рыбака, включая и предоставленные ему услуги, так и продуктивность природных экосистем.

Глава 5

ЭНЕРГИЯ И РОСТ

Задумываясь над будущим, мы задумываемся над вопросом: является энергия тем фактором, который определяет рост, устойчивое состояние или какой-то иной тип развития сельских поселений, городов и экономики в целом? Каждый из нас знает, что для одних предметов характерен рост, для других — спад. Некоторые из них остаются фактически неизменными, другие непрерывно изменяются, третьи подвержены случайным изменениям; впрочем, и их можно охарактеризовать с помощью средних величин или постоянной тенденции. Модели роста или стабильности зависят от различий в источниках энергии, способах ее аккумуляции. Будет ли экономика США расти, или она уже достигла стабильного состояния? Будет ли мировая экономика расти или же достигла устойчивого состояния? После прочтения данной главы, посвященной движущим силам экономического роста, читатель может с большей уверенностью и обоснованностью выдвигать прогнозы о будущем человечества. В этой же главе мы расскажем об основных путях воздействия энергетических потоков на рост, стабильность и другие формы изменения системы.

Для описания энергетических потоков, форм хранения и взаимодействия различных видов энергии мы по-прежнему будем пользоваться системными диаграммами. Для понимания сложных явлений мы строим простые диаграммы, которые обычно называются моделью¹.

¹ Кривые, приводимые в данной главе, построены электронной вычислительной машиной, в которую введены для этой цели ма-

В данной главе мы покажем, какие графики соответствуют различным моделям. Будут рассмотрены шесть основных моделей, начиная от модели водонапорной башни и кончая моделью, которая позволит наилучшим образом описать современную ситуацию на нашей планете. Каждая модель иллюстрируется двумя примерами, один из которых связан с природными экологическими системами, а другой — с экономической системой.

Графики временных зависимостей

Поскольку мы обсуждаем вопрос об изменении тех или иных процессов во времени, каждая из рассматриваемых здесь энергетических ситуаций будет иллюстрироваться графиком, показывающим изменение во времени уровня организации системы. Большинство читателей знакомо с графиками временных зависимостей, такими, как кривые роста населения или изменения цен. Вероятно, целесообразно кратко объяснить, что такое график временных зависимостей, для тех, кто не знает, что это такое. На рис. 21 приведен один из примеров такого графика — график роста во времени населения США. Единицы времени откладываются по оси координат (горизонтальной), а численность населения — по вертикальной оси. Чем выше кривая, тем больше население. Кривая характеризует динамику роста населения.

Другой пример дан на рис. 22. Приведенные здесь графики могут быть отнесены к различным процессам, например листопаду или водонапорному резервуару. Кривая графика отражает собой изменение того или иного процесса во времени. Как и в первом примере, по горизонтальной оси откладываются единицы времени. Отсчет времени начинается сразу после начала заполнения водонапорного

тематические формулы, соответствующие определенным энергетическим диаграммам. Фактически эти диаграммы представляют дифференциальные уравнения с неопределенными коэффициентами. Каждая из диаграмм может быть выражена в уравнениях, для чего необходимо учесть скорость изменений равновесного состояния каждого резервуара; как это делается, показано на стр. 374. Читателю следует понять, что форма кривой роста определяется доступностью энергии и наличием устройств, регулирующих энергетические процессы. — *Прим. авт.*

Рис. 21. Пример графика временной зависимости — кривая роста населения США до 1974 г. с двумя видами прогнозов (заимствовано из журнала «Time», 16 сентября 1974 г.).



резервуара. Вначале количество воды в резервуаре растет, а затем ее уровень стабилизируется, в результате чего в дальнейшем он уже не изменяется во времени.

Определение понятий роста, спада и стабильности

В зависимости от доступности энергии и исходных условий функционирования системы уровень накопленной энергии может повышаться, оставаться неизменным или понижаться. Рост связан с увеличением аккумуляции энергии, ее ресурсов, численности населения, объема информации и с развитием иных способов организации систем. При росте потоки на входе системы превышают потоки на выходе системы. Спадом называется ситуация, при которой расход энергии превышает ее поступление;

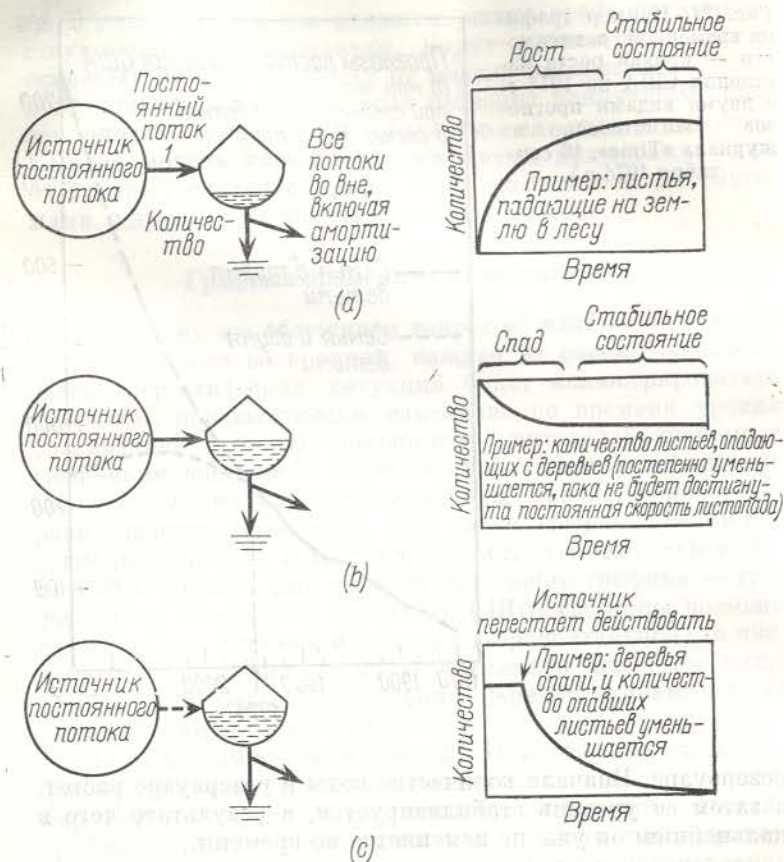


Рис. 22. Модель 1. Рост, насыщение и спад системы с одним резервуаром и источником энергии, поддерживающим постоянный расход. Примеры: биомасса листьев на почве в лесу; водопроводная раковина, медленно наполняемая водой при открытой пробке; остров, на который ежемесячно прибывает одно и то же число переселенцев, а число уезжающих растет в соответствии с ростом населения:

а) Резервуар пуст. б) Резервуар наполнен водой. в) Устойчивое состояние, после чего источник энергии отключается.

запасы энергии начинают иссякать. Состояние, при котором поступление энергии соответствует ее затратам и потерям, называется стабильным; в этом случае уровень энергии в различных ее накопителях постояен. Энергия может накапливаться благодаря эксплуатации внешних источников (см. рис. 23 а) или же благодаря взаимодействию различных видов энергии (см. рис. 23б).

Примерами роста могут служить увеличение сорняков в поле, оставленном под паром; рост населения, городов и образовательного уровня в США в прошлом столетии; быстрое размножение водорослей в озере, вода которого в результате неконтролируемого сброса сточных вод изобилует минеральными веществами.

Примером спада может служить лес, в котором поселились животные, интенсивно поглощающие листву деревьев; по мере того как чахнет лес, уменьшается и популяция животных.

Примером устойчивого состояния может служить равновесие между биомассой растений и популяциями рыб в теплых течениях близ побережья Флориды, где температура воды почти неизменна. Здесь годовое изменение биомассы возмещается таким образом, что ее общая величина фактически не претерпевает изменений. Можно привести еще ряд примеров. В тропических странах после покосов трава вырастает крайне быстро. Традиционная система земледелия, характерная, например, для ферм в долине р. Ганг (Индия), связана с постоянством численности населения, крупного рогатого скота, числа ферм и общин; рост населения соответствовал уровню смертности, а восстановление плодородия земли — ее истощению.

Энергия регулирует рост

Кривые роста зависят от эксплуатации источников энергии и от способов потребления энергии. Внешние для системы источники энергии и развитые в ней накопители энергии оказывают громадное воздействие на методы использования полученной энергии (см. рис. 15 и различные ограниченных и неограниченных источников). Источники энергии, методы ее использования и хранения определяют то, приведет ли производство энергии к росту, устойчивому состоянию системы или ее спаду. В последующем в данной главе будут рассмотрены часто наблюдае-

мые ситуации, в которых потоки энергии определяют кривые роста, в частности беспредельный рост, рост при источнике ограниченной мощности, два типа роста с истощением внутренних ресурсов, рост при источнике невозобновимой энергии и при сочетании источников возобновимой и невозобновляемой энергии.

Чтобы осмыслить различные графики роста, мы можем схематически представить взаимодействие потоков энергии в виде системы, состоящей из резервуаров воды, труб и насосов. Понятие роста известно нам из нашего жизненного опыта: все мы неоднократно наблюдали, как заполняются и опустошаются водопроводные раковины и ванны; это облегчает усвоение понятия роста, вводимого нами в энергетические диаграммы.

Модели — это лишь иной способ выражения математических соотношений; любые модели можно выразить в математических уравнениях и затем вывести из них кривые роста. Для моделей, рассматриваемых в этой главе, математические выражения приводятся на стр. 375. Эти модели были «проиграны» на ЭВМ, с помощью которых были получены соответствующие графики роста.

Модель 1: Рост и стабильность при отсутствии обратной связи

Первая модель, которую мы рассмотрим, показана на рис. 22. Это — простой резервуар, накапливающий энергию, где увеличение или уменьшение ее зависит от равновесия между поступлением и расходом энергии. На рис. 22 изображен один накопитель энергии — источник, обеспечивающий устойчивый поток энергии на входе и выходе системы в соответствии с давлением, достигнутым в резервуаре — накопителе энергии. Какая-то часть энергии в соответствии с законом деградации энергии затрачивается при рассеянии тепла (тепловые потери). Итак, определенная часть энергии рассеивается, а другая выносится из системы вместе с веществом. Как же данная модель характеризует рост, его стабилизацию и достижение устойчивого состояния системы? Переход от роста к стабильности характерен для различных процессов. Например, заполнения мешка зерном, развития поселений сезонных рабочих, набора новобранцев в армию и т. п.

Предположим, вначале резервуар пуст. Поступление энергии (или воды) превышает выход энергии (или воды) из той или иной системы. Но по мере того как давление в водонапорной башне растет, увеличивается и расход воды; вскоре между поступлением и оттоком наступает равновесие. Тогда рост замещается стабильным состоянием, что и показано на рис. 22а. В этом нетрудно убедиться, если наполнять ванну водой при вынудной пробке.

Предположим, что вначале резервуар уже был заполнен водой. Если сток воды будет превышать ее приток, то уровень воды в резервуаре будет падать и достигнет некоторого устойчивого состояния (рис. 22б).

Предположим, что мы прекратили доступ воды, теперь существует только отток; запасы воды в резервуаре начинают иссякать вначале быстро, но затем по мере падения уровня воды в резервуаре и, следовательно, давления этот процесс замедляется. Соответствующий график, отображающий процесс спада, имеет характерную форму с изломом, показанную на рис. 22с.

Еще одним примером этой же модели может служить листопад в лесу. Листья опадают каждый год, и биомасса листьев на земле возрастает до тех пор, пока скорость их гниения не уравнивается со скоростью листопада. Если деревья вырубить, источник поступления листьев исчезнет и масса опавшей листвы на почве резко уменьшится.

Давление на выходе водонапорного резервуара

Давление, обеспечивающее сток воды, зависит от объема накопленной воды. В трубах, идущих от водонапорного резервуара, поддерживается давление, соответствующее объему накопленной в резервуаре воды. То же справедливо и для тепловых потерь: чем больше величина накопленной тепловой энергии, тем больше ее рассеяние. Заполнение водонапорного резервуара связано с большими потоками. На рис. 22а изображено повышение уровня воды в резервуаре, приводящее к увеличению давления на выходе из системы.

Зависимость потоков от давления характерна и для других случаев. Например, общественное мнение, оказывающее давление на правительство ради осуществления того или иного политического действия, зависит от числа людей, одобряющих эту акцию; скорость распространения пожара пропорциональна количеству воспламеняющихся материа-

лов, сосредоточенных на определенной площади. Поток на выходе системы пропорционален приложенным силам; это справедливо для всех тех простых соотношений, которые рассмотрены нами с помощью диаграмм.

Источники, обеспечивающие постоянный уровень давления и расхода

Источник энергии, показанный на рис. 22, обеспечивает постоянство потока; потребление ограничено этим потоком. На рис. 23 изображен источник, поддерживающий постоянное давление или мощность. Если для модели 1 различие между этими двумя источниками не столь существенно (здесь постоянный уровень давления при устойчивом объеме поступающей воды обеспечивает постоянство потока на выходе системы), то для модели 2 тип источника оказывается существенным фактором, поскольку возникает возможность ввести в систему большое количество дополнительной энергии.

Отсутствие механизмов обратной связи

В модели простого водонапорного резервуара, обеспечивающего постоянный поток воды (рис. 22а), отсутствуют какие-либо устройства, оказывающие обратное воздействие на поступление воды. Это характерно, например, для заполнения раковины водой из водопроводного крана. Для изображения того, что поступление воды не связано с какими-либо механизмами обратной связи, мы в наших диаграммах используем такое условное обозначение, как стрелки¹.

¹ Если в системе существуют противодействующие силы, мы убираем стрелку из принятых условий обозначений. Например, вода, закачиваемая в резервуар через отверстие в его дне, испытывает встречное давление со стороны воды, уже находящейся в резервуаре. Заполнение резервуара водой может происходить в этом случае лишь при условии, что давление, под которым подается вода, превышает давление воды в резервуаре. Если снизить давление подаваемой воды, то вода будет вытекать из резервуара. Однако для большинства систем такое противодействие не характерно, поскольку существующая в них энергия преодолевает любые энергетические барьеры.

Модель 2: Быстрый рост, достигаемый благодаря механизмам обратной связи и эксплуатации крупных источников энергии

Система с одним резервуаром, показанная на рис. 23а, обеспечивает лишь постепенно замедляющийся и выравнивающийся рост. Существуют другие системы энергетических потоков, которые описываются совершенно иными кривыми, в частности ускоренный рост, достигаемый благодаря подключению дополнительной энергии из различных накопителей и интенсивной эксплуатации крупного

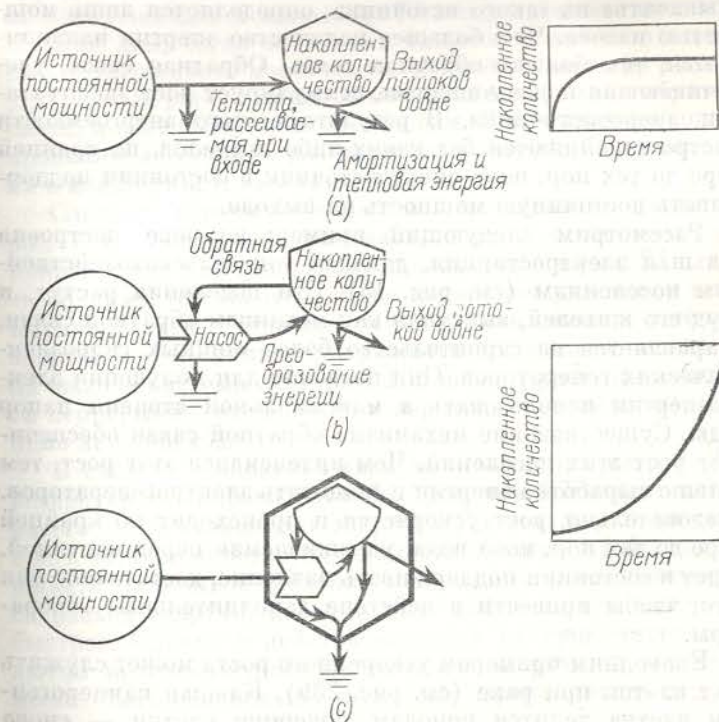


Рис. 23. Обратное влияние, оказываемое действием насоса на ускорение роста, если источник энергии поддерживает постоянную мощность на выходе.

а) Резервуар без обратной связи. б) Модель 2: резервуар с обратной связью (насос). в) Та же модель 2, но символы заключены в шестиугольник. Примеры систем б), в) рост раковой опухоли, рост числа колонистов в районах с благоприятными природно-климатическими условиями, рост микробов при разложении пищевых продуктов.

энергетического источника, позволяющего поддерживать на выходе системы постоянную мощность. На диаграмме (23b) условным обозначением накопителя энергии является линия, идущая от условного обозначения источника (круг) к насосу, увеличивающему энергию в накопителе. На диаграммах 23 и 24а изображен крупный источник энергии постоянной мощности. Этот вид постоянных по своей мощности источников энергии показан на диаграмме прямой линией, идущей от условного обозначения источника энергии (круг) к обозначению взаимодействия. Схема показывает, что количество энергии, которую можно «выкачать» из такого источника, определяется лишь мощностью насоса. Чем большее количество энергии накапливается, тем больше обратная связь. Обратная связь, увеличивающая подачу энергии, стимулирует рост эксплуатации энергоисточника. В результате этого энергоемкости быстро заполняются без каких-либо пределов, по крайней мере до тех пор, пока энергоисточник в состоянии поддерживать постоянную мощность на выходе.

Рассмотрим следующий пример: на реке построена большая электростанция, дающая ток сельскохозяйственным поселениям (см. рис. 13). Эти поселения растут, и труд его жителей, выступая как механизм обратной связи, направляется на строительство более мощных гидроэлектрических генераторов. Они позволяют для получения электроэнергии использовать в максимальной степени напор воды. Существование механизма обратной связи обеспечивает рост этих поселений. Чем интенсивнее этот рост, тем больше выработка энергии и мощность электрогенераторов. Следовательно, рост ускоряется и происходит по крайней мере до тех пор, пока вода, удерживаемая перед плотиной, будет в состоянии поддерживать давление, достаточное для того, чтобы привести в действие дополнительные генераторы.

Еще одним примером ускоренного роста может служить рост клеток при раке (см. рис. 23b). Каждая канцерогенная клетка делится пополам, дочерние клетки — снова пополам и т. д. Общее число клеток непрерывно возрастает. Новые клетки вовлекаются в процесс роста (обратная связь), потребляя энергию из такого источника, как кровь, причем во все большем количестве. Это и позволяет им расти и делиться. Такой процесс будет продолжаться, пока не будет нарушена какая-либо из его важных составляющих.

Подобным же образом растут многие виды микроорганизмов в условиях загрязнения окружающей среды и гниения пищевых продуктов.

Круто возрастающая кривая, характеризующая ускоренный рост при наличии обратных связей и крупных источников энергии, — это кривая, иногда называемая кривой Мальтуса.

Первые этапы развития урбанизированной экономики можно описать с помощью модели ускоренного роста (см. рис. 23b). Поскольку резервы ископаемого топлива были еще достаточно велики, нехватка энергетических ресурсов не обнаруживалась вплоть до 70-х годов нашего столетия. В наши дни, когда источники энергии более не в состоянии поддерживать постоянную энергомощность на выходе, ускоренный рост, с присущими ему механизмами обратной связи, может быть лишь временным. Более удачная модель прошлого и будущего развития человечества будет изложена в конце этой главы (рис. 28).

Следует обратить внимание на кривую роста на рис. 23b — она резко взмывает вверх. В отличие от нее кривая роста без ускорения, показанная на рис. 23a, круто поднимается вверх лишь на начальном участке, а затем выравнивается. Когда имеется обратная связь, а источник энергии в состоянии поддерживать постоянную мощность на выходе системы (см. рис. 23b и 23c), рост продолжается непрерывно; насыщения и перехода в устойчивое состояние не происходит.

В системе с обратной связью, показанной на рис. 23c, резервуар наполняется тем быстрее, чем больше мощность насоса, выкачивающего энергию. До тех пор пока мощность источника остается достаточно велика, чтобы поддерживать постоянное давление, несмотря на увеличивающийся расход энергии, насос должен работать все быстрее и быстрее. Однако в действительности не существует абсолютно неограниченных источников энергии, и модель 2 может быть справедлива лишь для ограниченного периода времени.

Пределы роста, казавшиеся ранее потенциальными, ныне оказываются вполне реальными.

Кривые роста различаются между собой. Эти различия коренятся в особенностях освоения энергии. При рассмотрении третьего закона энергии (принципа максимизации энергии) в гл. 3 мы отмечали, что лучшие шансы выжить

имеет та система, которая обладает механизмами обратной связи. Кривая быстрого роста, подобная той, которая изображена на рис. 23b, характерна для систем, успешно выживающих в борьбе за существование в условиях, когда ограниченность источников энергии начинает определять пределы роста. Хорошим примером этого может служить рост экономики США; подробнее этот вопрос мы рассмотрим во второй части книги.

Модель 3: Рост, ограниченный мощностью источника

Посмотрим теперь, что произойдет, если источник энергии не обладает большой, беспредельной и постоянной мощностью, а может обеспечить лишь определенный, постоянный расход энергии. Примером этого может служить поток воды, который, вращая водяное колесо, вырабатывает электроэнергию. В ситуации, когда поступление энергии постоянно, нельзя потребить больше энергии, чем то, которое обеспечивает источник. В любую единицу времени поступает лишь определенное количество энергии, и, если это количество расходуется полностью, увеличить поступление энергии невозможно. Пределы энергетических потоков определяются пределами источника энергии. Если рост деревни основывается на росте потребления энергии, вырабатываемой гидрогенераторами, период роста может быть лишь кратковременным, после чего наступает стабилизация (см. рис. 24b). Следует сравнить эту ситуацию с той, которая схематически изображена на рис. 24a, когда энергия поступает от источника неограниченной мощности.

На рис. 24b все системы — потребители энергии из источника ограниченной мощности обозначены одной линией. Если та или иная система потребляет энергии меньше, чем ее поступает от источника, часть ее остается другим потребителям. Но если один потребитель потребляет всю энергию, остальным не достается ничего.

Еще одним примером роста, ограниченного пределами источника, может служить лес, на который ежедневно падает постоянный поток солнечного света. Когда биомасса листового покрова достигает предела, при котором поглощается вся поступающая солнечная энергия, дальнейший рост прекращается, что и показано на рис. 24b.

Перед промышленной революцией человеческая цивилизация достигла уровня, при котором практически вся

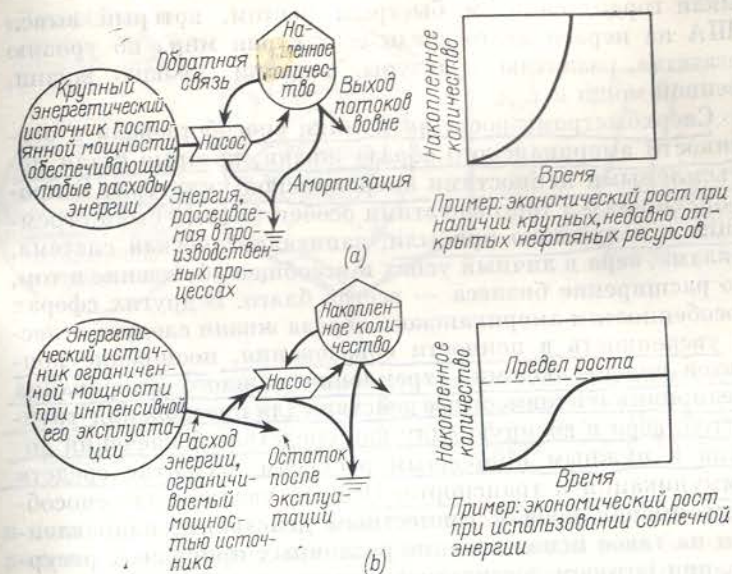


Рис. 24. Влияние типа источника энергии на кривую роста: а) Источник, поддерживающий постоянный расход. б) Модель 3: источник с ограниченным расходом.

энергия, поставляемая от имевшихся в ту пору источников, расходовалась без остатка. Поскольку эти источники — солнце, ветер и вода — были источниками возобновляемой и постоянной энергии, они определяли пределы роста, и во многих случаях уже было достигнуто устойчивое состояние.

Модель 4: Сверхбыстрый рост

В начале нашего столетия рост экономических показателей (населения, городов, денег) в Соединенных Штатах Америки фактически шел гораздо быстрее, чем рост, характеризующий кривой Мальтуса. Эта кривая описывает ту ситуацию, когда рост продукции пропорционален объему уже накопленных ресурсов, в США же этот рост шел еще быстрее. Это был сверхбыстрый рост. В США источники энергии разрабатывались быстрее, чем во многих других странах, и это повысило конкурентоспособность американских товаров на международных рынках. Американцы при-

выкли гордиться этим быстрым ростом, который вывел США на первое место среди всех стран мира по уровню богатства, развитию культуры, техники, уровню жизни, военной мощи и т. д.

Сверхбыстрому росту экономики способствовали и особенности американского образа жизни, которые стали неотъемлемыми ценностями американской культуры. В промышленности и торговле этими особенностями были стремление к получению прибыли, капиталистическая система, реклама, вера в личный успех и всеобщее убеждение в том, что расширение бизнеса — всегда благо. В других сферах к особенностям американского образа жизни следует отнести уверенность в ценности образования, поощрение контактов между людьми, стремление каждого американца предпринимать совместные действия для преодоления трудностей, вера в военную силу как средство обеспечения доступа к нужным природным ресурсам, развитие средств коммуникации и транспорта. Все это увеличивало способность американцев к совместным действиям, направленным на такое использование различных природных ресурсов, при котором достигались максимальные темпы экономического роста.

Для того чтобы понять, как осуществляется сверхбыстрый рост в условиях экономической конкуренции и крупных источников энергии, обратимся к модели 4, содержащей блок саморегуляции (А), обеспечивающий ускоренный рост. Как показано на рис. 25, наличие блока саморегуляции А позволяет найти дополнительные возможности для экономического роста США. Кривая роста при этом модифицируется и будет гораздо круче кривой Мальтуса.

Поясним это на примере. Кооперация труда при постройке дома обеспечивает дополнительный эффект, не сопоставимый с простой суммой усилий всех людей. Он более высок благодаря тому, что здесь возникает взаимодействие между людьми. Один человек сообщает другому какие-то полезные сведения; второй помогает третьему, подавая какие-то детали при совместных работах; третий энтузиазм заражает остальных. Взаимодействие людей в условиях кооперирования труда повышает эффективность труда каждого. Две линии на рис. 25 обозначают увеличение результативности при кооперации труда людей пропорционально их числу: два человека сделают в два раза большую работу, чем один человек; трое — в три раза больше

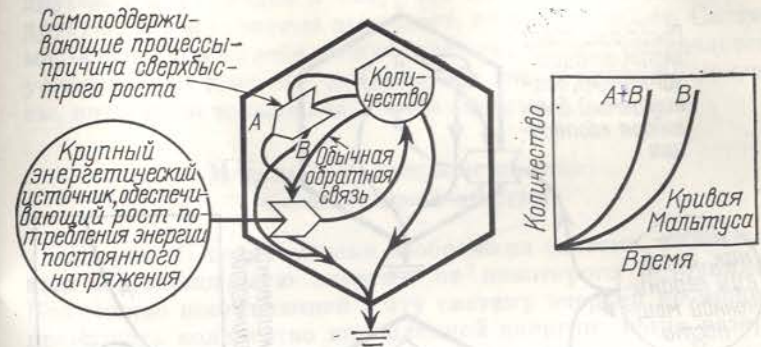


Рис. 25. Модель 4: поступление дополнительной энергии и взаимодействие различных видов энергии приводит к ускорению темпов роста, график которого отличается от кривой Мальтуса. Кривая A+B характеризует рост экономики США в XX в.

и т. д. Условное обозначение взаимодействия различных подсистем указывает, что двое делают не в два раза больше, чем один, а, может быть, в четыре раза больше. Но повышение результативности труда связано с большими затратами энергии. Изображенный на рис. 25 блок характеризует ускорение роста за счет внутренних взаимодействий между различными элементами системы — одна часть общества стимулирует развитие другой. Заметим, однако, что при такой работе стимулируется не только рост, но также и расходование энергии — ее потребляется вдвое больше, чем в обычных условиях. Пока источник энергии достаточен, деятельность людей, направленная на ускорение роста, может быть успешной, хотя она и осуществляется за счет потребления большого количества энергии. Если же источник энергии недостаточно велик, ускоренный рост не приводит к каким-либо полезным результатам, а лишь к напрасным затратам дополнительной энергии.

Выживает сильнейший

Закон борьбы за существование и выживание сильнейшего можно проанализировать на примере роста микробов, размножения сорняков и экономической конкуренции. В периоды быстрого роста, когда источники энергии практически не ограничены и не существует каких-либо лимитов

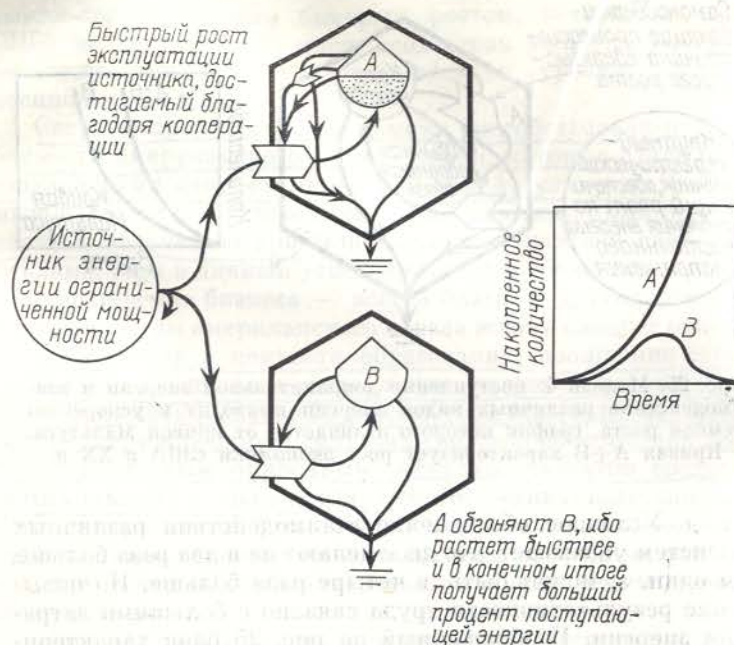


Рис. 26. Борьба за выживание между системами, описываемая разными моделями. Модель А включает каналы обратной связи и учитывает внутренние взаимодействия (кооперацию лиц, участвующих в трудовом процессе). Система, поведение которой описывается этой моделью, имеет большие шансы выжить. Предположим, например, что в системе А люди сотрудничают между собой, а в системе В действуют порознь.

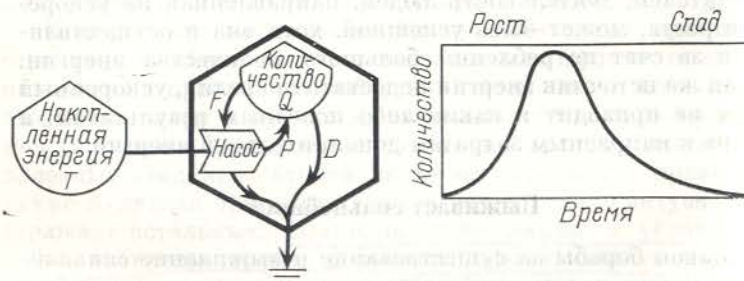


Рис. 27. Модель 5. Если источник энергии ограничен, то за резким ростом следует спад. Примеры: рост числа жучков и грибов в гниющем дереве; горняцкий поселок, который люди покидают, когда месторождение угля исчерпано.

тирующих рост факторов, одна система растет быстрее другой. Это приводит к тому, что одна система вытесняет другую: первая система выживает, вторая погибает. Система, обеспечившая себе выживание тем, что она развивается ускоренными темпами, захватывает энергетические ресурсы, которые использовала вторая система.

Модель 5: Рост при источнике невозобновимой энергии

На рис. 27 схематически изображена система, получающая невозобновимую энергию от некоторого источника. Количество поступающей в эту систему энергии не может превышать количество накопленной энергии: когда резервуар Т опустеет, энергию взять больше неоткуда. В этом случае потребление энергии вначале растет быстрыми темпами, пока источник Т не начнет истощаться. После этого величина накопленной энергии (Q) постепенно падает, поскольку расход энергии при амортизации (D) и на функционирование механизмов обратной связи превышает поступление энергии P.

Например, популяция насекомых, обитающих в срубленном дереве, поедающих древесину и микроорганизмы, какое-то время количество насекомых увеличивается, но затем достигает максимума и, когда источник энергии начинает истощаться, постепенно уменьшается. Другой пример: поселок, потребляющий электроэнергию, получаемую от местной ГЭС (рис. 13b). После жестокой засухи, когда вода перестает поступать к плотине ГЭС, население поселка может еще некоторое время расти, но затем, после того как запас воды перед плотинной будет исчерпан, начнет уменьшаться. Многие горняцкие поселки росли, а когда руда была выработана, пришли в упадок.

Модель 6: Рост при двух источниках энергии — возобновимой и невозобновимой

На рис. 28 показана ситуация, когда энергия поступает из двух источников, из которых один временный (первоначальное количество энергии в нем фиксировано), а другой регулярно пополняется. В этом случае источники энергии вначале обеспечивают быстрый рост, который сменяется спадом и затем устойчивым состоянием, которое соот-

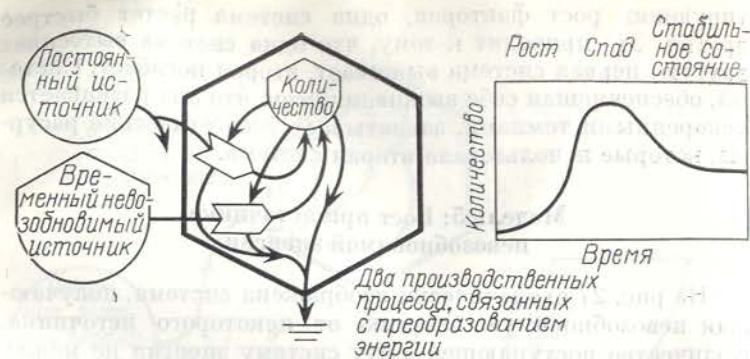


Рис. 28. Модель 6. Если часть энергии поступает от невозобновимого источника, то после периода быстрого роста система возвращается к устойчивому состоянию. Примерами могут служить экономика США, экологическое сообщество в недавно образовавшемся водоеме (первоначально для питания используются данные органические вещества почвы).

ветствует поступлению возобновляемой энергии. Это устойчивое состояние характеризуется меньшим уровнем, чем тот, который может быть достигнут при поступлении энергии из обоих источников. Возможно, что эта модель описывает рост урбанизированной экономики; более детально мы рассмотрим это в третьей части книги. Примером системы, описываемой моделью 6, может служить озеро, в котором рыба питается пищей, нерегулярно поступающей в озеро (источник невозобновимой энергии), и водорослями, растущими под воздействием постоянно поступающего солнечного света (источник возобновляемой энергии). Если существуют два источника пищи, то популяции рыб быстро растут. Если же источник невозобновимой энергии перестает функционировать, то популяции рыб уменьшаются и достигают определенного уровня, определяемого в конечном счете источником возобновляющейся солнечной энергии.

Выводы из диаграмм

Мы использовали диаграммы для получения обобщенных результатов, относящихся к совершенно различным типам систем, но все же имеющих общие модели роста. Примерами таких систем, которые имеют аналогичные гра-

фики роста во времени, могут быть микроорганизмы, популяция оленей, водонапорный резервуар, рост злаков, город. Мы рассмотрели несколько наиболее существенных кривых роста и энергетические ситуации, которым они соответствуют. Одни из этих кривых роста характеризуют изменения, происходящие в неживых системах (например, увеличение объема воды в водонапорной башне), другие характеризуют рост живых систем (в частности, сельскохозяйственных культур), третьи описывают рост того сложного конгломерата живых и неживых систем, который и называется экономикой.

Глава 6

ПОЛЕЗНАЯ ЭНЕРГИЯ И УВЕЛИЧЕНИЕ РАЗНООБРАЗИЯ В СИСТЕМЕ

Согласно закону максимизации энергии, в борьбе за существование выживают те системы, которые интенсивно эксплуатируют энергетические источники и обеспечивают большую энергомощность системы. При этом высококачественная энергия используется для стимулирования преобразования энергии низкого качества в энергию более высокого качества. Потоки энергии, достаточно мощные для того, чтобы получить большее количество энергии, чем то, которое потребляется в этом процессе, могут быть направлены в другие части системы, где энергетические потоки не столь мощны. Такие энергетические потоки, которые позволяют выработать больше высококачественной энергии, чем ее потребляется, обеспечивают выход полезной энергии, или энергии-нетто. Получение полезной энергии дает возможность снабжать высококачественной энергией те части системы, которые без этого не могли бы функционировать. Полезную энергию можно использовать для стимулирования роста системы, для подключения в нее дополнительной энергии из ограниченных источников или для обмена энергией с другими системами.

Энергетические потоки обычно взаимосвязаны: взаимодействие потоков высококачественной энергии стимулирует рост энергии более низкого качества и увеличивает общую энергомощность системы. Однако поскольку в системе все элементы взаимосвязаны, постольку зачастую трудно определить, какие элементы богаты высококачественной энергией и тем самым обеспечивают жизнеспособ-

ность всей системы. Многие из тех решений, которые принимаются по энергетическим проблемам, оказываются неправильными потому, что не учитывают процессы, при которых одна часть системы «одалживает» другой какое-то количество высококачественной энергии. Поскольку между частями системы идет обмен энергией различного качества, рассчитать общий энергетический баланс системы не так-то просто. В этой главе мы, пользуясь диаграммами, покажем, каким образом энергетические потоки регулируют ход различных процессов. Таблица энергетических эквивалентов при преобразовании одной формы энергии в другую (стр. 124) поможет нам оценить полезную энергию, получаемую из основных источников энергии, и определить, сколько высококачественной энергии затрачивается при тех или иных процессах. Соотношение между использованной и произведенной энергией оказывается существенным для оценки различных решений, принимаемых в нашу эпоху — эпоху ускорения темпов жизни относительно энергетического базиса жизни всего человечества. Итак, в этой главе мы ответим на следующие вопросы: что такое полезная энергия? Где наиболее рационально применение этого понятия? Как измерить «полезность» энергии?

Пути повышения качества энергии

В гл. 2 (рис. 9) было уже введено понятие повышения качества энергии: энергия низкого качества, поступающая от Солнца, способствует поглощению растениями питательных веществ, древесина превращается в каменный уголь, а сжигание угля в топках электростанций позволяет получить электроэнергию. Энергия низкого качества изображена в левой части схемы, и движение слева направо характеризует повышение качества (концентрацию) энергии. Деятельность человека представлена в правой части диаграммы и относится к преобразованию энергии высокого качества. Если изобразить эту цепь преобразования энергии более детально (рис. 29), то обнаружится, что на каждом этапе повышения качества энергии имеется обратная связь, направленная уже справа налево, благодаря чему поступление высококачественной энергии стимулирует преобразование энергии низкого качества. Мы уже говорили о том, что механизмы обратной связи образуются в той или иной системе для максимизации ее энергии (см.

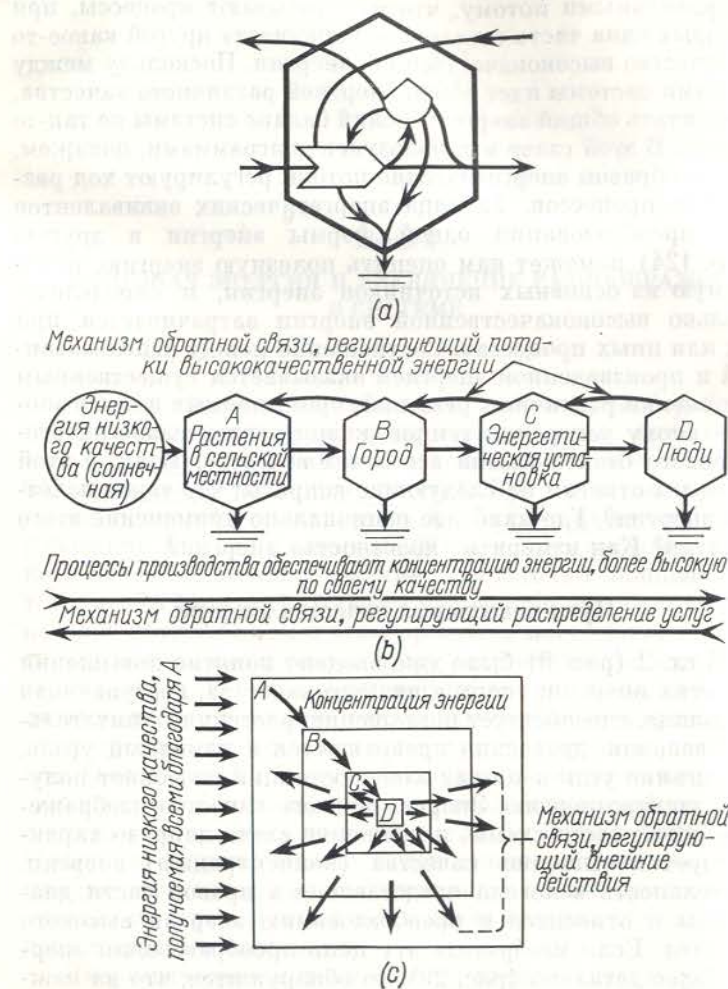


Рис. 29. Цепь энергетических потоков с повышением качества энергии:

а) Детальное изображение одного блока. б) Энергетическая цепь. в) Схема, показывающая, что высококачественная энергия сконцентрирована в малых объемах (накопителях энергии), а обратные связи охватывают ареалы, большие по площади.

рис. 13). На рис. 29 ради простоты отдельные блоки, составляющие цепь преобразования энергии, вытянуты в одну линию, в действительности же эта цепь скорее напоминает сеть, в ячейках которой расположено множество источников энергии и ее потребителей.

С помощью обратных связей осуществляется регуляция основного потока энергии. Высококачественная энергия, выраженная в Калориях, позволяет определить, какую работу может выполнить больший по величине поток энергии низкого качества. Например, от наличия оросительной системы, семян и от труда фермера (это и есть энергия высшего качества) зависит, на каком поле энергия солнечных лучей даст более богатый урожай зерна (см. рис. 2). Высококачественная энергия ценна именно тем, что она преобразует энергию, большую по величине, но более низкого качества. Как показано на рис. 29б, преобразование энергии ведет к повышению ее качества и уровня концентрации и противоположно по направленности механизмам обратной связи. Например, в сельском хозяйстве слабо развитых стран (см. рис. 29б) концентрация энергии повышается от звена к звену: поле—ферма—город—энергетическая установка, основанная на сжигании древесного топлива, — население.

Для максимизации производства энергии каждого типа должна взаимодействовать с потоком энергии иного качества, как это показано на рис. 29а. Здесь возможны два случая. Во-первых, взаимодействие энергии с энергией более низкого качества (это и обозначено стрелкой, направленной влево) приводит к преобразованию ее и повышению ее качества. Во-вторых, взаимодействие энергии с энергией более высокого качества (этот тип взаимодействия изображен стрелкой вправо), теряющей свое качество. Во взаимодействии с большим потоком энергии низкого качества высококачественная энергия (если только она не усиливается¹) теряет свое качество и обесценивается.

¹ Процесс взаимодействия можно назвать «усилителем», т. е. таким устройством, в котором получение энергии на выходе достигается благодаря взаимодействию двух энергетических потоков. Действие одного из этих потоков, обычно меняющегося по величине, приводит к пропорциональному увеличению потока на выходе усилителя, тогда как второй поток используется в качестве дополнительного источника энергии.

В радиоэлектронике усиливаемый входной поток называют сигналом, а второй источник энергии — источником питания. На-

В свою очередь энергия низкого качества, если с ней не вступает во взаимодействие какая-либо высококачественная энергия, остается бесполезной. Это иллюстрируется рис. 30: в системе а), где имеет место взаимодействие энергии, высокого и низкого качества, производится больше энергии, чем в системе б), где такого взаимодействия нет. Например, электричество — это энергия высокого качества. Если электроэнергия используется для приведения в действие экскаватора, добывающего уголь, то для отопления будет получено гораздо больше энергии, чем в том случае, если электроэнергию направить на отопление.

Таблица энергетических затрат на преобразование энергии

В табл. 1 приводятся величины энергетических затрат, необходимых для преобразования одного вида энергии в другой. В первой колонке указывается количество Калорий энергии каждого вида, необходимое для получения одной Калории условного топлива; эти данные помогут нам вычислить полезную энергию. В современном обществе используется большое число тепловых двигателей, работающих на ископаемом топливе. Таблица позволяет выразить энергию различных видов через энергию условного топлива. Например, получение одной Калории при сжигании высококачественного и уже добытого каменного угля эквивалентно около 2 тыс. Калориям энергии солнечного света. Во второй колонке приводятся эквиваленты условного топлива для тех же видов энергии, полученные путем деления единицы на величину, указанную в первой колонке таблицы. Например, поскольку для получения одной Калории электроэнергии требуется около 4 Калорий

пример, в звукоусилителях изменения звука являются сигналом, а питание подается от электрической сети.

Процесс усиления связан с существованием энергии двух уровней качества. Поток энергии низкого качества дает большое количество энергии в Калориях; поток высококачественной энергии, гораздо меньший по величине, обеспечивает контроль за всем процессом усиления. Их взаимодействие между собой оказывает влияние на каждый из этих потоков. Специалисты по радиоэлектронике полагают, что усиливается лишь поток высококачественной энергии, однако тот, кто знаком с другими дисциплинами, поймет, что взаимодействие может усиливать один из этих потоков или оба.

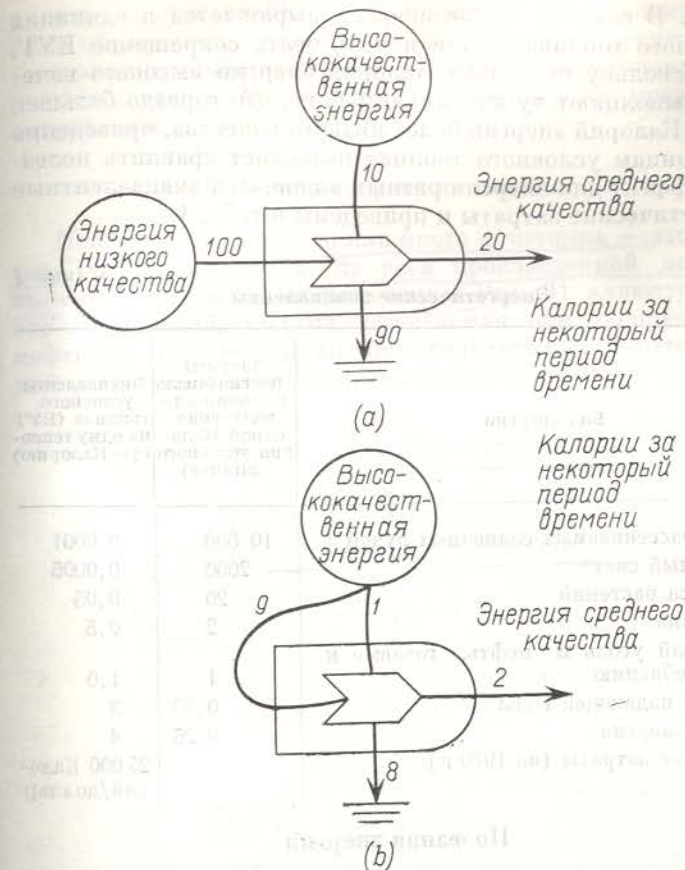


Рис. 30. Сравнение между автономным процессом использования высококачественной энергии и ее применением для повышения качественного уровня энергии:

а) Высококачественная энергия повышает качество энергии. Пример: удобрения и услуги, товары, изготовленные на основе использования солнечной энергии и энергии минерального топлива, способствуют повышению урожайности сельскохозяйственной продукции. б) Высококачественная энергия используется также и для удовлетворения потребностей, которые можно удовлетворить, используя энергию низкого качества. Пример: электроэнергия, полученная при сжигании ископаемого топлива, используется не только для производства удобрений, товаров и услуг, необходимых для выращивания сельскохозяйственных культур, но также и для освещения теплиц.

энергии каменного угля (включая косвенные затраты энергии при работе электростанции), то эквивалент условного топлива на одну Калорию электроэнергии равен 0,25 Ка-

лории. В случаях, когда энергия выражается в единицах условного топлива, будем использовать сокращение ЕУТ.

Поскольку несколько Калорий энергии высокого качества выполняют ту же самую работу, что гораздо большее число Калорий энергии более низкого качества, приведение к единицам условного топлива позволяет сравнить полезный эффект для энергии разных видов. Эти эквивалентные энергетические затраты и приведены в табл. 1.

Энергетические эквиваленты

Таблица 1

Вид энергии	Затраты энергии (число Калорий для получения одной Калории условного топлива)	Эквиваленты условного топлива (ЕУТ на одну тепловую Калорию)
Тепло рассеиваемых солнечных лучей	10 000	0,0001
Солнечный свет	2000	0,0005
Биомасса растений	20	0,05
Древесина	2	0,5
Каменный уголь и нефть, готовые к употреблению	1	1,0
Энергия падающей воды	0,33	3
Электроэнергия	0,25	4
Денежные затраты (на 1970 г.)		25 000 Калорий/доллар

Полезная энергия

В условиях истощения энергетических ресурсов, ставшего явным в 70-х гг. нашего века, обострился и вопрос о том, какой способ преобразования энергии позволяет получить максимальное количество полезной энергии. Все энергетические процессы имеют механизм обратной связи. Обычно забывают о том, что работа механизмов обратной связи всегда связана с затратами энергии. В тех случаях, когда энергия, затрачиваемая на функционирование механизмов обратной связи, высока по своему качеству (такова, например, энергия, связанная с работой людей и сложных машин), прежде чем развивать подобные механизмы в экономике, важно знать, какая часть этой энергии расхо-

дится. Многие ошибки при решении энергетических проблем объясняются именно тем, что люди не учитывают (в сравнимых эквивалентах) затраты на обеспечение обратных связей в сфере услуг и производства предметов потребления.

Полезная энергия источника

Полезная энергия того или иного источника — это энергия, остающаяся, если из всей произведенной энергии вычесть затраты на ее получение. Рис. 31 иллюстрирует это определение. Энергия, получаемая при эксплуатации нефтяного месторождения, преобразуется высококачественной энергией, поступающей по каналам обратной связи из

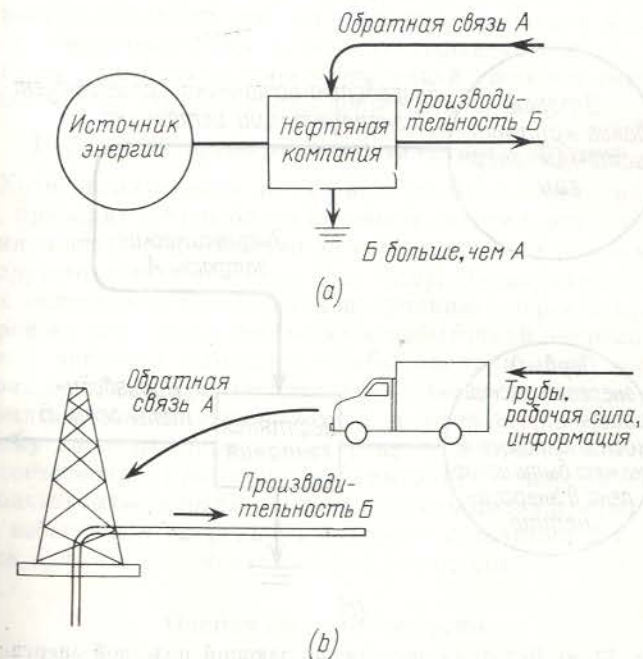


Рис. 31. Преобразование энергии с выработкой полезной энергии: количество произведенной энергии Б больше, чем количество энергии А, возвращающейся в производство. Источник дает полезную энергию, превышающую затраты энергии на ее выработку.

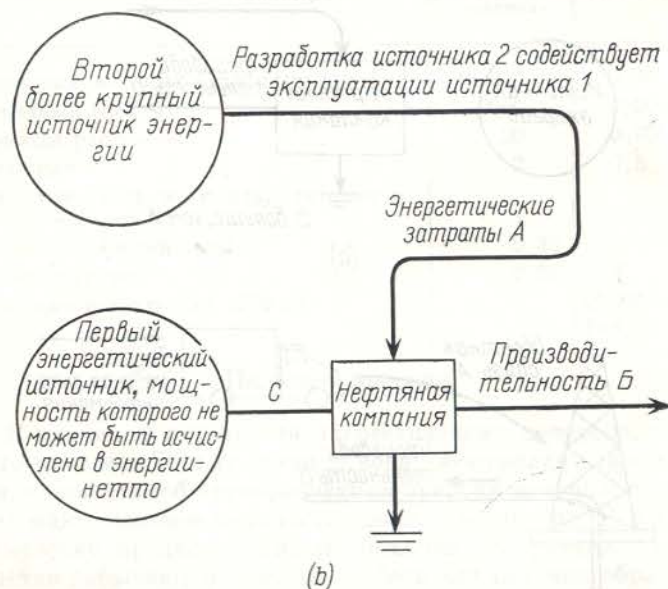
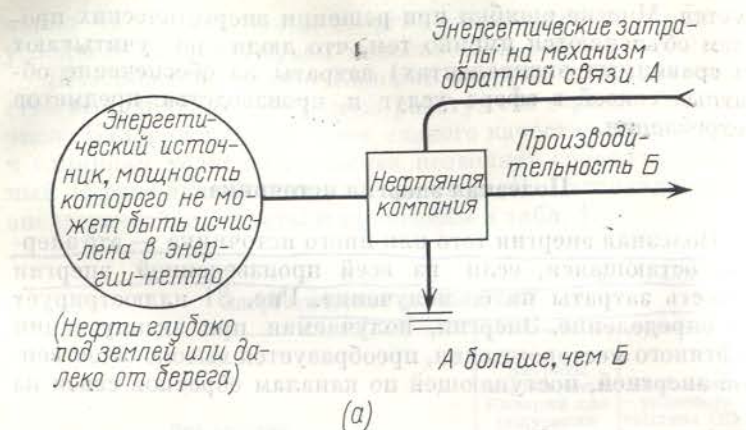


Рис. 32. а) Источник энергии, не дающий полезной энергии. Энергия, затрачиваемая на эксплуатацию источника (А) больше, чем производимая энергия (Б). б) Использование второго источника энергии для эксплуатации энергетического источника 1, который сам по себе не дает полезной энергии.

какого-то пункта экономической системы. Энергия, необходимая для выкачивания нефти, для поддержания оборудования в рабочем состоянии, обеспечения уровня жизни персонала нефтяной компании (энергетический поток А), меньше, чем энергия, полученная от эксплуатации месторождения (энергетический поток Б). Увеличение полезной энергии, полученной при эксплуатации месторождений нефти и каменного угля, особенно заметно в последние десятилетия. Эта полезная энергия обеспечила развитие новых сфер человеческой деятельности.

На рис. 32а изображен также источник энергии, не дающий полезной энергии. Здесь энергетический поток А больше энергетического потока Б. Примером такого источника является нефтяное месторождение, залегающее в море далеко от берега или глубоко под землей. Стоимость стальной платформы с нефтяной вышкой, расходов на текущий ремонт трубопроводов и плавсредств, на восстановительные антикоррозийные работы, на аварийные работы и эксплуатацию многочисленных вспомогательных устройств, необходимых для функционирования такой сложной системы, может превысить стоимость добытой нефти.

Передача энергии от одного источника другому

Хотя эксплуатация источника, изображенного на рис. 32а, приводит к выработке полезной энергии, эта эксплуатация может продолжаться за счет энергии, поступающей от другого источника (см. рис. 32б). Эксплуатация этих двух источников приводит к получению энергии, причем второй из них отдает часть своей избыточной энергии (полезной энергии) для того, чтобы эксплуатация первого источника была производительной. Эксплуатация первого источника не приносит полезной энергии до тех пор, пока к нему не подсоединяется энергия из второго источника. Соответственно принципу максимизации энергии такое использование энергии следует оценить положительно, так как избыточная энергия из крупного источника 2 не тратится зря, а обеспечивает общее увеличение потока энергии.

Оценка полезной энергии

Энергетические диаграммы позволяют оценить полезность энергии. Поскольку взаимодействующие энергетические потоки имеют различный уровень качества и поэтому

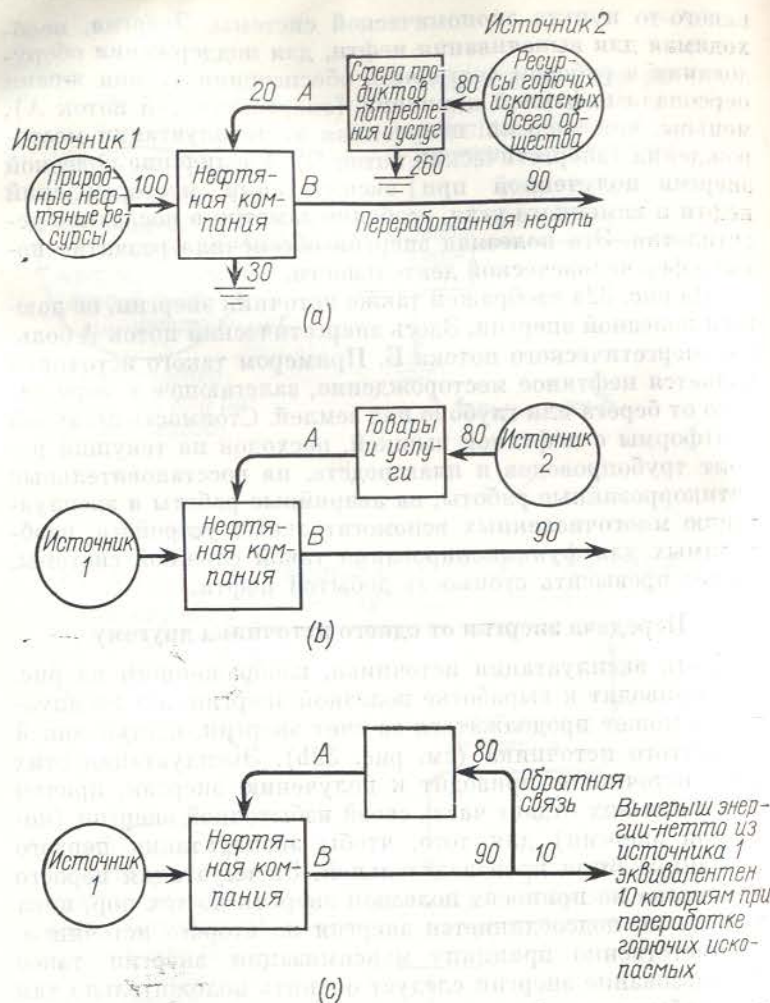


Рис. 33. Крупный источник энергии, обеспечивающий выход полезной энергии. Нефтяная компания получает энергию, добывая и перерабатывая нефть:

а) Энергетические потоки в тепловых калориях в сутки. Максимальное количество работы, получаемой при эксплуатации нефтяных источников, не включает в себя работу, производимую солнечной энергией. б) Эквивалентные значения энергии в единицах условного топлива. в) Чтобы вычислить полезную энергию, получаемую из источника 1, следует присоединить к ней полезную энергию, получаемую из источника 2 и затрачиваемую на функционирование механизмов обратной связи.

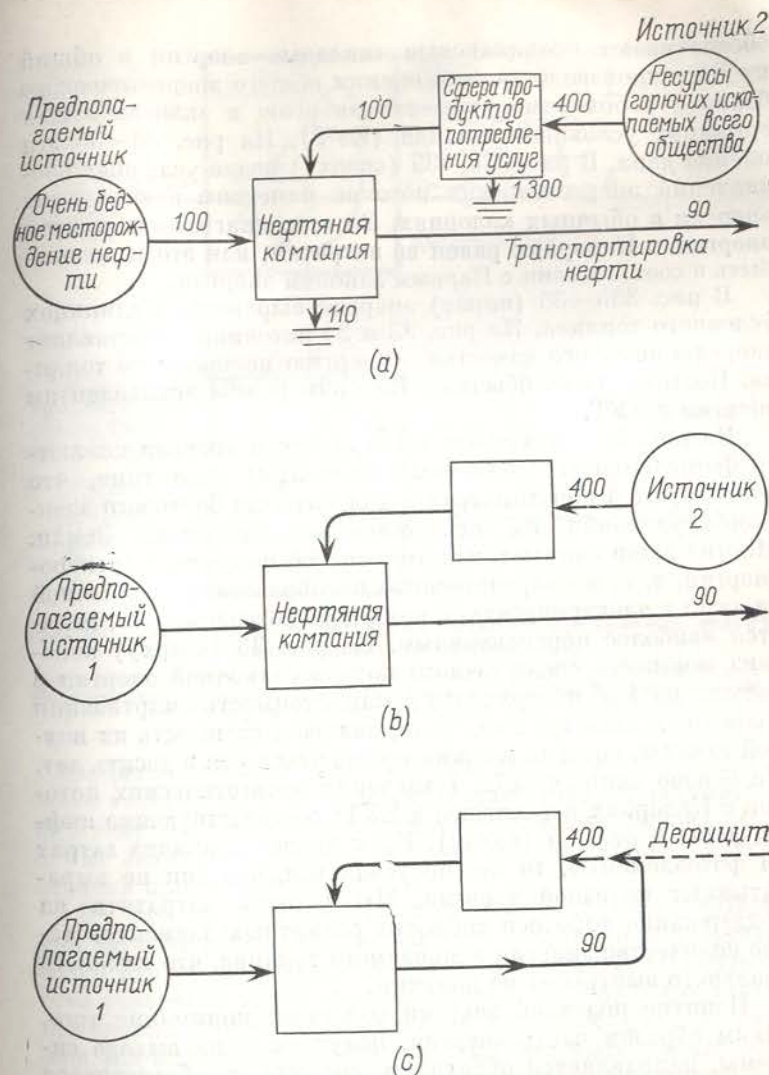


Рис. 34. Пример бедного источника энергии, который сам по себе не дает полезной энергии. Чтобы получить энергию от источника 1, необходимо ввести дополнительную энергию из источника 2. Для максимизации работы, выполняемой источником высококачественной энергии 2, необходимо его взаимодействие с солнечной энергией:

а) Энергетические потоки в тепловых калориях в сутки. б) Эквивалентные значения в единицах условного топлива в сутки. в) Чтобы вычислить полезную энергию, получаемую из источника 1, следует присоединить к ней полезную энергию, получаемую из источника 2 и затрачиваемую на функционирование механизмов обратной связи.

обеспечивают неодинаковые «вклады» энергии в общий процесс производства, для оценки общего энергетического баланса необходимо выразить энергию в эквивалентных единицах условного топлива (ЕУТ). На рис. 33—35 эта оценка дана. В рис. 33а—35 (вверху) возле условных обозначений энергетических потоков нанесены эквиваленты энергии в обычных калориях. Во всех диаграммах приток энергии в Калориях равен ее затратам, как это и должно быть в соответствии с Первым законом энергии.

В рис. 33b—35 (внизу) энергия выражена в единицах условного топлива. На рис. 33 и 34 источник 2 поставляет энергию высокого качества — энергию ископаемого топлива. Поэтому здесь обычные Калории равны эквивалентам энергии в ЕУТ.

На рис. 35 источником электрической энергии являются фотоэлементы (солнечные элементы) того типа, что используются в фотометрах и для питания бортового электрооборудования на искусственных спутниках Земли. Многие люди считают, что этот способ получения электроэнергии, т. е. непосредственное преобразование солнечной энергии в электрическую с помощью фотоэлементов, является наиболее перспективным. На рис. 35 (вверху) показана мощность ежесуточного потока солнечной энергии в расчете на 1 м^2 поверхности земли, стоимость амортизации солнечных элементов за сутки, включая стоимость их полной замены, которая должна проводиться раз в десять лет. На основе данных табл. 1 значения энергетических потоков в Калориях переведены в ЕУТ; соответствующие цифры даны в рис. 35 (внизу). Если провести анализ затрат на фотоэлементы, то можно убедиться, что они не вырабатывают полезной энергии. Мы должны затратить на поддержание работоспособности солнечных элементов такое количество энергии ископаемого топлива, что никакого реального выигрыша не получим.

Понятие полезной энергии облегчает понимание того, каким образом часть энергии, получаемой на выходе системы, направляется обратно в систему и обеспечивает эксплуатацию источников высококачественной энергии ископаемого топлива (см. рис. 33с и 34с). Если этот процесс успешен (рис. 33), то вырабатывается полезная энергия величиной в десять Калорий. Если же этот процесс не происходит, т. е. если отсутствуют источники, способные дать энергию в 400 Калорий, то нет и полезной энергии.

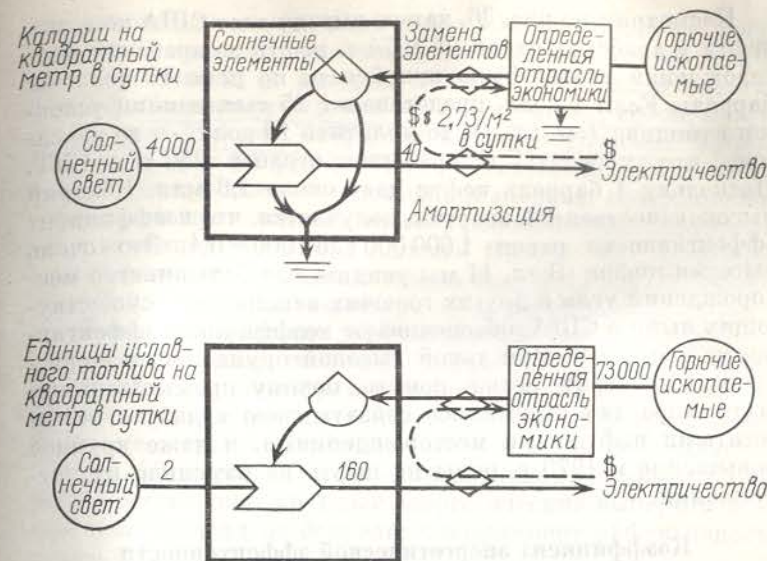


Рис. 35. Выработка электроэнергии батареями кремниевых солнечных элементов площадью 1 м^2 ;

Вверху: энергетические потоки в тепловых калориях в сутки. Внизу: энергетические потоки в единицах условного топлива в сутки. Полезной энергии нет, а коэффициент эффективности очень мал.

Дефицит составляет $400 - 90 = 310$ Калорий. В этом процессе энергия вырабатывается. Однако следует задуматься над тем, так ли велика полученная энергия, какова была бы ее величина, если бы энергия направлялась в другие отрасли производства?

На рис. 35 показано, каким образом высококачественная энергия нефти, взаимодействуя с солнечной энергией, более низкой по своему качеству, обеспечивает производство товаров и услуг, которые предоставляются нефтяным компаниям нашей экономической системой. Этот рисунок еще раз иллюстрирует тот принцип, что высококачественная энергия, взаимодействуя с энергией более низкого качества, способна обеспечить выполнение работы, какая возможна при данном энергетическом потенциале системы. Системы, в которых не заложена способность увеличивать производимую работу за счет такого взаимодействия, выполняют меньшую работу, чем другие системы, и потому проигрывают в конкурентной борьбе.

Посмотрим по рис. 36, какую выгоду дает США покупка нефти у арабских стран. В 1974 г. нефть из арабских месторождений можно было приобрести по цене 10 долл. за баррель. Если 1 долл. представляет 25 тыс. единиц условного топлива (см. гл. 4), то уплатить 10 долл. — то же самое, что передать в арабские страны 250 тыс. ЕУТ. Поскольку 1 баррель нефти дает около 1,6 млн. Калорий высококачественной энергии, получается, что коэффициент эффективности равен $1\,600\,000 : 250\,000 = 6,4$. Это очень высокая цифра. В гл. 11 мы увидим, что большинство месторождений угля и других горючих ископаемых, существующих ныне в США, обеспечивают коэффициент эффективности меньше 6. При такой высокой окупаемости энергетических затрат легко понять, почему промышленники всего мира так стремились связать свою судьбу с этими богатыми нефтяными месторождениями, и даже крупное повышение в 1973 г. цены на нефть не изменило их устремлений.

Коэффициент энергетической эффективности

Для сравнительной оценки источников энергии, находящихся в распоряжении общества, недостаточно просто определить, дает ли источник полезную энергию. Источни-

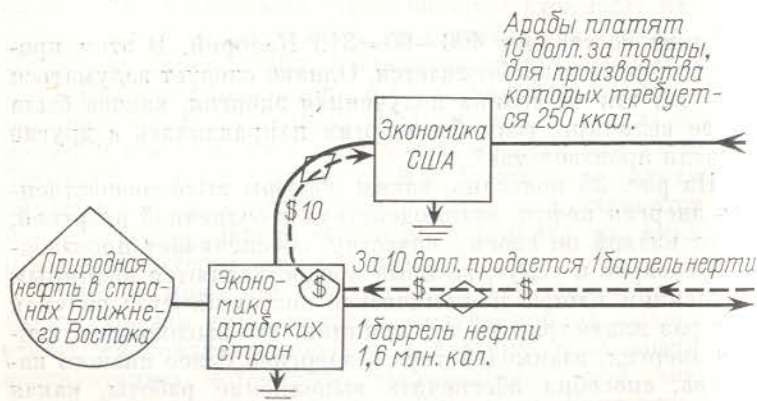


Рис. 36. В 1974 г. США, импортируя нефть арабских стран, обеспечивали коэффициент энергетической эффективности 6,4, т. е. на каждую единицу условного топлива, затраченного на производство товаров, продаваемых арабским странам, получали 6,4 единицы условного топлива.

ки, дающие некоторое количество полезной энергии, могут оказаться неконкурентоспособными по отношению к другим источникам, у которых величина полезной энергии больше. Сравнивая источники энергии между собой, можно рассчитать для них коэффициент энергетической эффективности. Этот коэффициент равен отношению произведенной энергии к высококачественной энергии, возвращенной в процессы производства, причем обе величины выражаются в единицах условного топлива. На рис. 37b коэффициент эффективности для источника энергии 2 равен отношению В к А, а для источника 1 — отношению В к С.

Если коэффициент эффективности больше единицы, имеет место выход полезной энергии. На рис. 38 коэффициент эффективности равен отношению 90 : 80 (1,1), и полезная энергия невелика. На рис. 35 коэффициент равен 0,23, т. е. меньше 1, полезная энергия не вырабатывается. На рис. 36 видно, что нефть, продаваемая странами Ближнего Востока, дает крупный энергетический выигрыш даже при цене 10 долл. за баррель; коэффициент эффективности равен 6,4.

Пути вложения энергии

Если производится полезная энергия, это означает, что вырабатывается большее количество высококачественной энергии, чем то, которое вновь направляется в систему. Куда же следует направить полученную полезную энергию, с тем чтобы обеспечить лучшие возможности для выживания системы? Произведенную и преобразованную энергию можно:

- 1) направить на обеспечение роста какого-то уже существующего элемента системы, на ускорение первоначального процесса;
- 2) использовать для повышения уровня разнообразия элементов внутри системы, с тем чтобы получить доступ к дополнительным источникам энергии или улучшить эксплуатацию наличных источников;
- 3) направить на обмен энергию определенного качества. Согласно третьему закону энергии (принцип максимизации), успешное функционирование системы и ее выживание в борьбе за источники энергии достигается на том из этих трех возможных путей, который обеспечивает максимальное производство высококачественной энергии. Эти три возможных пути показаны на рис. 37. Первый путь

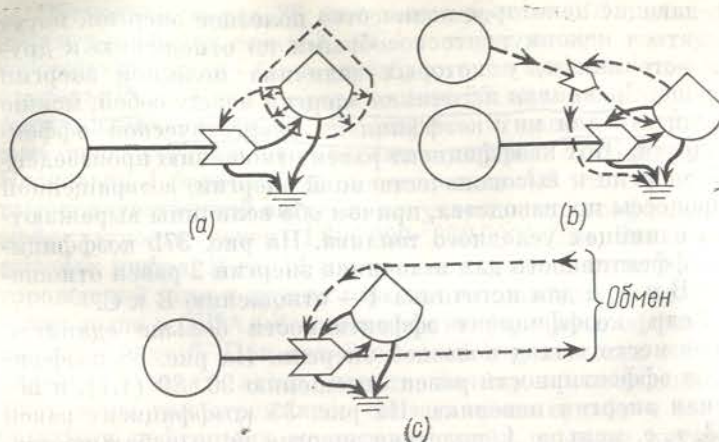


Рис. 37. Три возможных пути использования ресурсов энергии для обеспечения дальнейшего роста (пунктирными линиями показаны новые, ранее не рассматривавшиеся возможности). а) Эксплуатация существующих источников энергии обеспечивает рост. б) Дополнительные источники энергии повышают уровень разнообразия системы. в) Подключение новых внешних источников энергии благодаря торговому обмену.

связан с ограниченным источником энергии, эксплуатацию которого можно интенсифицировать. В этом случае непрерывный рост достигается тем, что часть энергии направляется на ускорение производства энергии. Второй путь увеличения энергии благодаря повышению уровня разнообразия элементов системы наиболее адекватен в тех ситуациях, когда отсутствуют дополнительные источники энергии или же специалисты по энергетике. Наконец, третий путь связан с тем, что соседние страны обладают богатыми источниками энергии, которую можно получить в обмен на товары. Иными словами, в этом случае полезную энергию можно получить благодаря ее экспорту. Тот или иной путь вложения энергии, обеспечивающий наилучшие условия для выживания, характерен для различных систем. Подкреслим сказанное примерами:

1. Развитие сельского хозяйства в Америке в Новое время происходило главным образом за счет расширения посевных площадей, занятых под одними и теми же культурами, поскольку фермеры имели в своем распоряжении большие земельные угодья.

2. Определенная часть энергии, полученная в сельском хозяйстве, была направлена на постройку водяных мельниц, использующих силу воды (второй источник).

3. Определенная часть энергии, полученная в сельском хозяйстве и при работе водяных мельниц, была направлена на рост производства товаров на рынок (натуральный или денежный обмен), что в конце концов обеспечило получение дополнительной энергии, например, при эксплуатации нефтяных месторождений.

Сельское хозяйство — пример того, как субсидирование повышает продуктивность

Многие системы повышают свою продуктивность, вовлекая в производственный процесс энергию крупного внешнего источника и создавая, правда, небольшое количество полезной энергии. В современном интенсивном сельском хозяйстве рост товарной продукции достигается тем, что в городе (канал обратной связи) закупается ряд товаров и услуг. Производство этих товаров и услуг основывается на потреблении энергии ископаемого топлива. Энергетическая диаграмма примитивного сельского хозяйства, не получающего извне дополнительных вложений энергии, представлена на рис. 38. На рис. 38b схематически изображено современное интенсивное сельское хозяйство, использующее дополнительные энерговложения — удобрения, ядохимикаты, машины, специальные сорта семян, топливо и т. д. Примитивное сельское хозяйство оказалось достаточно жизнеспособным и к началу промышленной революции сумело выработать полезную энергию и создать запас продуктов питания, составлявших основу человеческой жизни. К этому времени использование солнечной энергии (без вложений дополнительной энергии из каких-либо иных источников) было максимальным. Значительный рост товарной продукции, достигнутый в современном сельском хозяйстве, получен не тем, что была повышена эффективность использования солнечной энергии, а вложением в сельское хозяйство дополнительной энергии — энергии ископаемого топлива. Повышение урожайности сельскохозяйственных культур позволило сократить посевные площади; солнечная энергия в сельскохозяйственном производстве имеет все меньшее значение и гораздо большее — энергия ископаемого топлива.

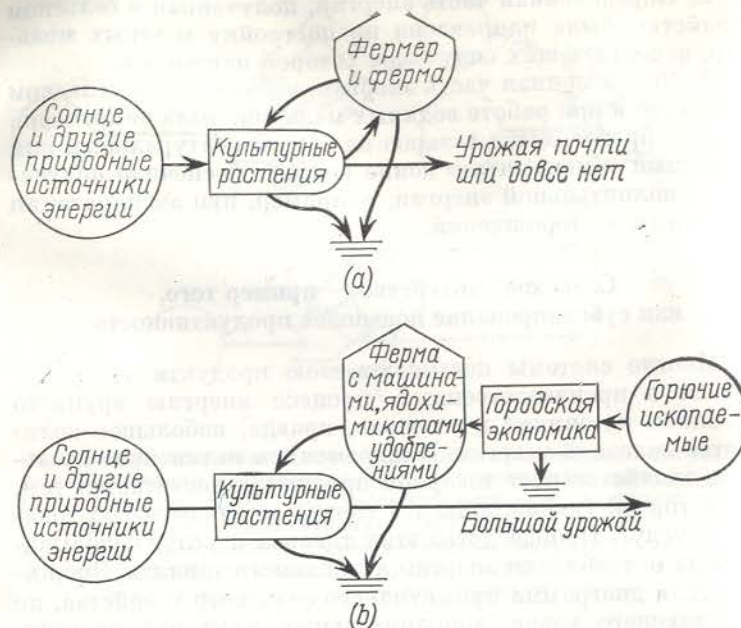


Рис. 38. Энергетический базис сельского хозяйства. а) дает меньше товарной продукции, чем б) современное сельское хозяйство, базирующееся на дополнительных вложениях энергии извне.

Сравнение энергии солнечных лучей и энергии ископаемого топлива, используемого в сельскохозяйственном производстве Флориды, приведено на рис. 39 (данные 1970 г.). Энергетические затраты в единицах условного топлива оценивались по фактическим денежным затратам на покупку топлива. На нем даны эквиваленты в Калориях и сумма денежных затрат на закупку сельскохозяйственной продукции. На рис. 39b указаны эквиваленты этих энергетических и денежных затрат в единицах условного топлива. Заметим, что энергия ископаемого топлива в современном сельском хозяйстве значительно превышает энергию Солнца — 30 против 4,5 в сопоставимых единицах.

Повышение уровня разнообразия элементов

Чтобы выжить, т. е. не быть вытесненной соперниками, система должна быстро наращивать потребление энергии,

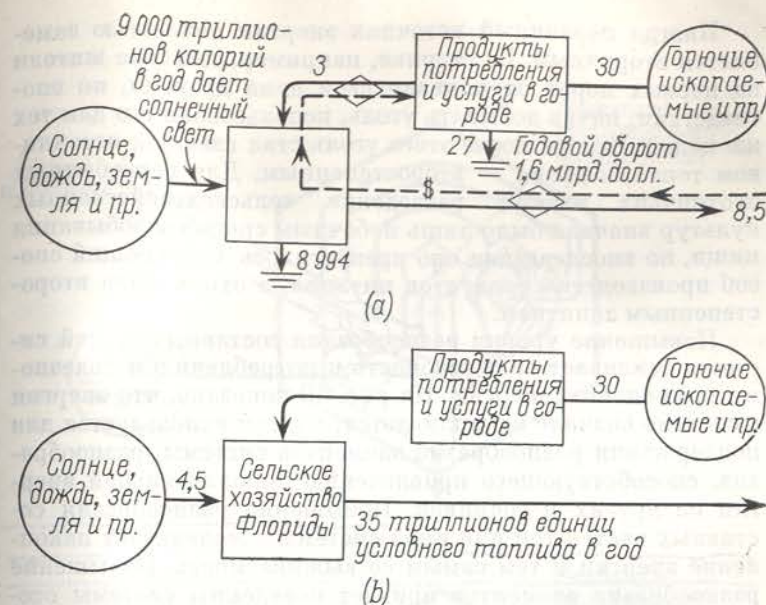


Рис. 39. Главные энергетические потоки в сельском хозяйстве шт. Флорида (общая посевная площадь около 15 млн. акров). Преобразование солнечной энергии в продукты питания связано со значительными энергетическими вложениями из дополнительных источников энергии — горючих ископаемых, обеспечивающих работу машин, удобрений, ядохимикатов, предметов повседневного обихода для сельскохозяйственных рабочих и т. п. а) Исходные экономические данные для изучения сельского хозяйства Флориды. Энергия указана в триллионах тепловых калорий в год. б) Энергетические потоки в единицах условного топлива.

если, конечно, необходимая для этого роста энергия существует. Если основные источники энергии интенсивно эксплуатируются, но далеки от своего истощения, то энергия может быть получена из второго источника, хотя сам по себе он и не мог обеспечить получение полезной энергии. Например, в сельском хозяйстве мельницы используют силу ветра. Используемый при строительстве мельниц лес концентрирует в себе солнечную энергию. Этот первичный источник энергии обеспечивает получение дополнительной энергии — использование силы ветра. Без этого второго источника энергии ветряные мельницы не могли бы работать.

Иногда первичный источник энергии полностью заменяется вторичным. В Америке, например, сельские жители на первых порах отапливали свои дома дровами, но впоследствии, начав добывать уголь, использовали его для тех же целей. Вскоре после этого уголь стал главным источником тепла, а дрова — второстепенным. Для первобытных охотничьих племен разведение сельскохозяйственных культур вначале было лишь побочным способом добывания пищи, но впоследствии оно превратилось в решающий способ производства продуктов питания, а охота стала второстепенным занятием.

Повышение уровня разнообразия составных частей системы усиливает ее способность к потреблению и полезному применению энергии. На рис. 40 показано, что энергия в системе вначале накапливается, а затем используется для поддержания разнообразия элементов системы, разнообразия, способствующего привлечению дополнительной энергии из других источников. Повышение разнообразия составных частей той или иной системы обеспечивает накопление энергии и тем самым ее выживаемость. Повышение разнообразия элементов придает поведению системы особую гибкость в условиях, когда источники энергии становятся менее доступными. Развитие профессиональной структуры повышает эффективность экономики, ибо в городе всегда найдется специалист, способный выполнить необходимую работу.

Можно привести другой пример. В экосистеме кораллового рифа живут рыбы разных видов. Для каждого вида характерна своя особая окраска, позволяющая особям одного вида узнавать друг друга и отмечать занятую видом территорию. Окраска связана с затратами химической энергии, затраты энергии необходимы и для различения цвета, и для того, чтобы органы чувств и мозг реагировали на свет. Если бы в этой экосистеме жили рыбы только одного вида, эти затраты энергии были бы не нужны; создание и поддержание разнообразия связаны с затратами энергии. Вместе с тем разнообразие видов рыбы в этой экосистеме полезно для нее, делая ее более эффективной. Каждый вид рыбы питается определенными организмами, и это создает в системе сложную структуру пищевых цепей. Такая взаимозависимость видов означает, что эффективно используются все компоненты экосистемы.

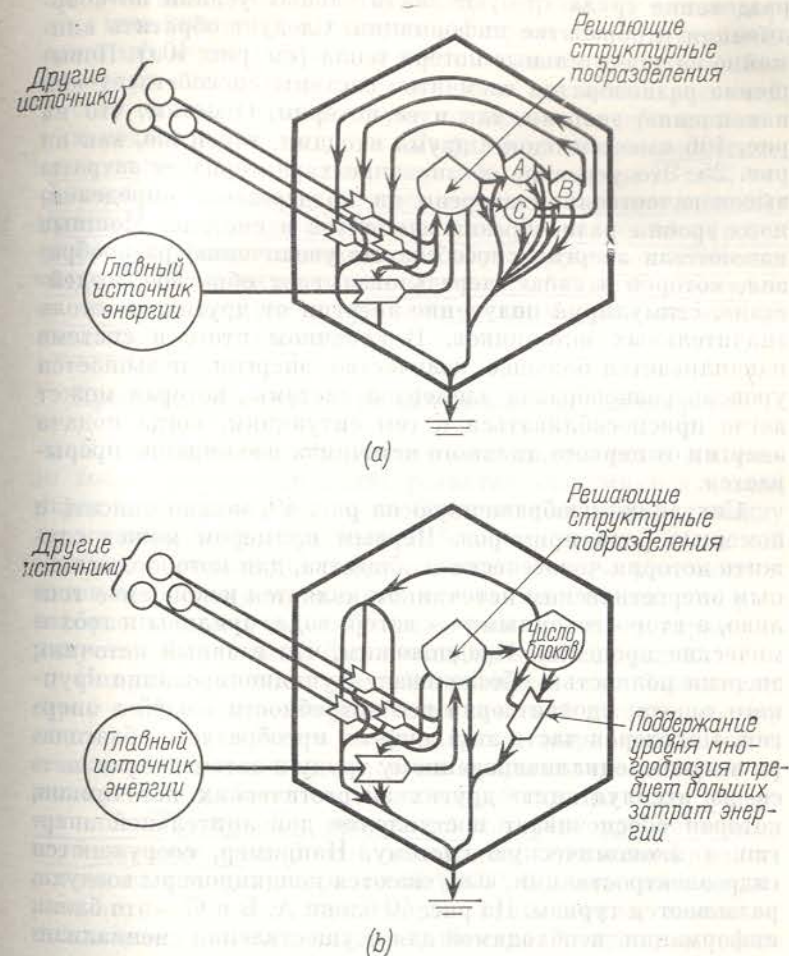


Рис. 40. Два способа обозначения разнообразия блоков системы, использующей полезную энергию из главного источника для получения энергии из других источников. а) Разнородные блоки А, В, С, существующие обособленно. б) Разнородные блоки объединены в одно хранилище.

Энергия, необходимая для повышения разнообразия в системе, достаточно велика, поскольку специализация и разделение труда требуют значительных усилий по координации и обработке информации. Следует обратить внимание на значительные потери тепла (см. рис. 40а). Повышение разнообразия элементов системы способствует как накоплению энергии, так и ее потерям. Отметим, что на рис. 40b имеется блок с двумя входами, такой же, как на рис. 25. Это условное обозначение характеризует затраты высококачественной энергии на поддержание определенного уровня разнообразия элементов в системе. Мощные накопители энергии способствуют увеличению разнообразия, которое в свою очередь оказывает обратное воздействие, стимулируя получение энергии от других, не столь значительных источников. В конечном итоге в системе накапливается большее количество энергии, повышается уровень разнообразия элементов системы, которая может легче приспосабливаться к тем ситуациям, когда подача энергии от первого, главного источника неожиданно прерывается.

Ситуацию, изображенную на рис. 40, можно описать с помощью ряда примеров. Первым примером может служить история человеческого общества, для которого основным энергетическим источником является ископаемое топливо, а второстепенными — ветер, вода, приливы и геохимические процессы. Предположим, что главный источник энергии полностью обеспечивает функционирование крупного города, удовлетворяя все потребности людей в энергии. Некоторая часть этой энергии преобразуется благодаря высокоспециализированному труду и затем направляется на эксплуатацию других энергетических источников, которая обеспечивает поступление дополнительной энергии в экономическую систему. Например, сооружаются гидроэлектростанции, выпускаются кондиционеры воздуха, развивается туризм. На рис. 40 блоки А, В и С — это блоки информации, необходимой для осуществления специализированных видов работ.

Вторым примером может служить экологическая система, в которой Солнце — главный источник энергии, а основная структура — биомасса леса. Уровень разнообразия этой системы обнаруживается в разнообразии растительных видов. Вторичными источниками энергии здесь являются вода, ветер, органические вещества и геохимиче-

ские процессы. Специализация видов способствует включению вторичных энергетических потоков в общую систему. Например, деревья некоторых видов имеют длинные корни, позволяющие извлекать минеральные питательные вещества почвы с большой глубины; потоки воздуха обеспечивают опыление некоторых видов цветковых растений, листья при засухе используют испарение содержащейся в них воды для охлаждения. Люди, изучающие экологические системы, такие, как эстуарии, убеждены в том, что разнообразие живых организмов способствует лучшему приспособлению растений и животных к изменяющимся условиям. Многие специалисты, изучающие экономические системы, убеждены, что наиболее устойчивыми являются те из них, которые допускают разнообразие элементов, входящих в данную систему.

Производство на экспорт или локальное разнообразие

Люди, определяющие пути развития сельского и лесного хозяйства, планирующие развитие экономики в целом, нередко сталкиваются с необходимостью выбора между двумя возможными путями: либо можно предоставить той или иной локальной системе возможность развиваться автономно, стимулируя в ней изменения и повышение разнообразия элементов, либо развивать обмен товарами и услугами между данной системой и внешней средой.

Например, экономика большинства слаборазвитых стран не была ориентирована на внешний рынок, поэтому лишь небольшая часть всей энергии, вырабатываемой в этих странах, затрачивалась на производство товаров на экспорт. В хозяйстве отдельно взятой страны были развиты лишь те отрасли, продукция которых удовлетворяла ограниченные потребности населения. Открытие крупных источников энергии и развитие на этой основе железнодорожного и морского транспорта существенно изменили положение. Сельскохозяйственные страны, производившие много зерновых продуктов и обладавшие значительными сырьевыми ресурсами, стали обменивать эти продукты на деньги, что давало им возможность покупать топливо и товары, выпускаемые промышленно развитыми странами, экономика которых базируется на использовании энергии горючих ископаемых. В эпоху колониализма экономика многих слаборазвитых стран во многом изменилась, пре-

вратившись из экономики, удовлетворяющей потребности своего населения, в экономику, ориентированную на внешний рынок. Таким образом, рост потребления энергии в мире привел к тому, что экономика со слабым и локальным разделением труда превратилась в специализированную экономику, ориентирующуюся на многообразные экспортно-импортные связи с другими странами.

Еще одним примером может служить лесное хозяйство. Когда-то думали, что для воспроизводства лесных богатств лучше всего предоставить лесу расти самому и не допускать вмешательства человека в естественные процессы. Разнообразие видов помогало лесу бороться с нашествиями вредных насекомых и эпидемическими заболеваниями животных, справляться с лесными пожарами и т. п. Позднее, когда начали осваивать крупные месторождения горючих ископаемых, более экономичным методом ведения лесного хозяйства стали считать разведение деревьев какого-то одного вида. Продажа древесины позволяет найти средства, необходимые для приобретения товаров и услуг, созданных в других отраслях экономики, базирующихся на использовании энергии топлива. К этим закупаемым продуктам иных отраслей экономики относятся удобрения, гербициды, ядохимикаты, лесозаготовительное оборудование. В наши дни, когда месторождения ископаемого топлива стали менее доступны, целесообразно возвратиться к прежней точке зрения, согласно которой лучший путь восстановления лесных богатств — естественная саморегуляция и повышение разнообразия видов растений в лесу.

Глава 7

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Иллюстрацией общих принципов, управляющих энергетическими процессами, могут служить экологические системы. Эти системы существуют на Земле много миллионов лет. Все это время в экологических системах постоянно идут процессы приспособления, направленные на сохранение видов животных и растений, входящих в состав каждой системы, непрерывную передачу видовых признаков по наследству и сохранение флоры и фауны в реках, озерах и морях. В этой главе на примере нескольких экологических систем будет показано, каким образом в этих системах осуществляются энергетические процессы и формируется организация систем. Поскольку возраст этих природных систем очень велик, так что составляющие их виды успели хорошо приспособиться к условиям существования, эти примеры помогут нам узнать кое-что новое относительно систем, существующих в разных энергетических условиях. Изучив природные системы, мы сумеем вывести некоторые законы, справедливые для всех систем вообще.

Экосистемы существуют в разных условиях — в воде и на земле, в сухих и влажных районах, в холодных и жарких местностях. Все они по-разному выглядят, включают различные виды растений и животных и по-разному приспособляются к конкретным климатическим и биологическим условиям своего существования. Однако в поведении всех экологических систем имеются и общие аспекты, связанные с принципиальным сходством энергетических процессов, протекающих в них. Энергетические диаграммы

вновь позволяют сравнить экосистемы между собой и выявить в них эквивалентные стороны энергообмена. Некоторые экосистемы богаты энергией и полны жизни. Другие бедны энергией и малопродуктивны. Одни из них молоды, подвержены быстрым изменениям и росту, другие же более стары по своему возрасту, давно достигли устойчивого состояния. Одни экосистемы накапливают органические вещества или возвращают их во внешнюю среду, другие потребляют больше органических веществ, чем производят. Именно эти экосистемы, в том случае, если отсутствуют внешние источники энергии, обречены на постепенное вымирание.

Продуценты и консументы

На Земле, как на суше, так и в морях, существует большое многообразие экосистем. В их состав входят растения, животные и микроорганизмы, которые производят и перерабатывают энергию, обеспечивают поддержание органических структур, различные циклы, причем все это происходит в полном соответствии с рассмотренными нами законами энергии. Примерами экосистемы могут служить леса, тундры, луга, заросшие озера, донные водоросли, коралловые рифы, тропические моря, болота. Все эти разнообразные экосистемы обладают некоторыми общими характеристиками, вытекающими из основных законов движения энергии. Все экосистемы, существование которых зиждется на использовании солнечной энергии, построены по единой схеме. В их состав входит растительный покров, в котором растения поглощают энергию солнечных лучей для производства пищи (процесс фотосинтеза); эти растения называются продуцентами. В состав этих систем входят также различные группы организмов (как растений, так и животных), потребляющих пищу; эти организмы называются консументами. Консументы также выполняют некоторые функции, полезные для системы в целом, поддерживают собственное существование и участвуют в кругообороте веществ.

Симбиоз продуцентов и консументов

На рис. 41 изображена модель экосистем. Рис. 41а представляет собой модель энергетических потоков, повышения качества энергии, ее потребления и возвращения части

энергии в общий оборот и ее рассеяния в среде, окружающей систему. На рис. 41b представлены процессы равновесия, существующие в аквариуме, который многие из читателей, должно быть, заводили у себя дома или в школе.

Как видно из рис. 41b, солнечный свет, попадая через стекло внутрь аквариума, стимулирует и поддерживает процесс фотосинтеза органического вещества, которое служит пищей для всех живых существ, обитающих в аквариуме. Понятием «органическое вещество» охватываются углеводы, жиры, белки, древесные волокна, торф, кости и другие компоненты организмов, живых или мертвых. Органическое вещество накапливается в тканях растений при их жизни и остается также в отмерших растениях, скажем в древесных волокнах или тине. В ходе этого процесса тепло рассеивается в окружающей среде и выделяется кислород. Консументы, живущие в аквариуме, поедают (прямо или косвенно) органическое вещество, содержащееся в пище, чем и поддерживают свое существование. Для усвоения поедаемой пищи им необходим кислород, вступающий в химическое взаимодействие с органическим веществом пищи.

Побочными продуктами деятельности консументов являются выделяемые при этом организмом углекислый газ, водяные пары, минеральные вещества и рассеяние тепловой энергии. Минеральные питательные вещества — это те неорганические химические вещества, которые необходимы растениям для жизни и усваиваются ими из почвы и воды. Сюда относятся фосфор, азот, калий, кальций, магний, сера и т. п.

В биологии широко используется еще одно название для процесса потребления пищи — респирация. В живом человеческом организме, например, респирацией называют все процессы дыхания и обмена с окружающей средой. Тот же термин относится к «дыханию» автомобиля или города. Химические реакции оказываются общими. Консументы, особенно микробы, разлагают органическое вещество, содержащееся в пище, на минеральные питательные вещества. Эти микроконсументы называются иногда декомпозерами.

Химические реакции, обеспечивающие равновесие экосистемы аквариума, можно записать следующим образом:

Углекислый газ + Вода + Минеральные питательные вещества
 При помощи солнечного света и растительности дают Кислород + Потребление (респирация) Органическое вещество + Водяные пары + Углекислый газ

Производство (фотосинтез) Минеральные питательные вещества
 В процессе жизнедеятельности потребителя дают Минеральные питательные вещества

Заметим, что уравнение для процесса потребления начинается с побочных продуктов фотосинтеза, а в результате все вещества возвращаются в исходное состояние. Иными словами, фотосинтез и потребление взаимно дополняют друг друга: продукт одного процесса является исходным материалом для другого. Когда два явления взаимно дополняют друг друга, их взаимоотношение иногда характеризуют термином «симбиоз». Можно сказать, что процессы фотосинтеза и потребления симбиотичны.

В зоологическом парке или лесу (см. рис. 41) консументами являются животные, а также многие микроорганизмы почвы. Однако более важными консументами являются растения. Хлорофиллсодержащие части растений — поставщики органического вещества, другие части растений (стебли, корни и пр.), подобно животным, лишь потребляют пищу. Питательные вещества из листьев, где они производятся, поступают в стебель и корни, обеспечивая пищей остальные ткани растения. Таким образом, растение одновременно и производит, и потребляет пищу. Растение, производящее пищу, участвует в общем процессе создания продуктов питания. Часть этой пищи растения потребляют сами для поддержания своего существования. Оставшаяся часть, которую можно назвать полезным продуктом фотосинтеза, состоит из кислорода и растительных тканей, потребляемых в пищу животными и микроорганизмами.

В аквариуме идут те же процессы. Рыбы и водные насекомые дышат кислородом, растворенным в воде. Растения — сине-зеленые и бурые водоросли — в процессе фотосинтеза

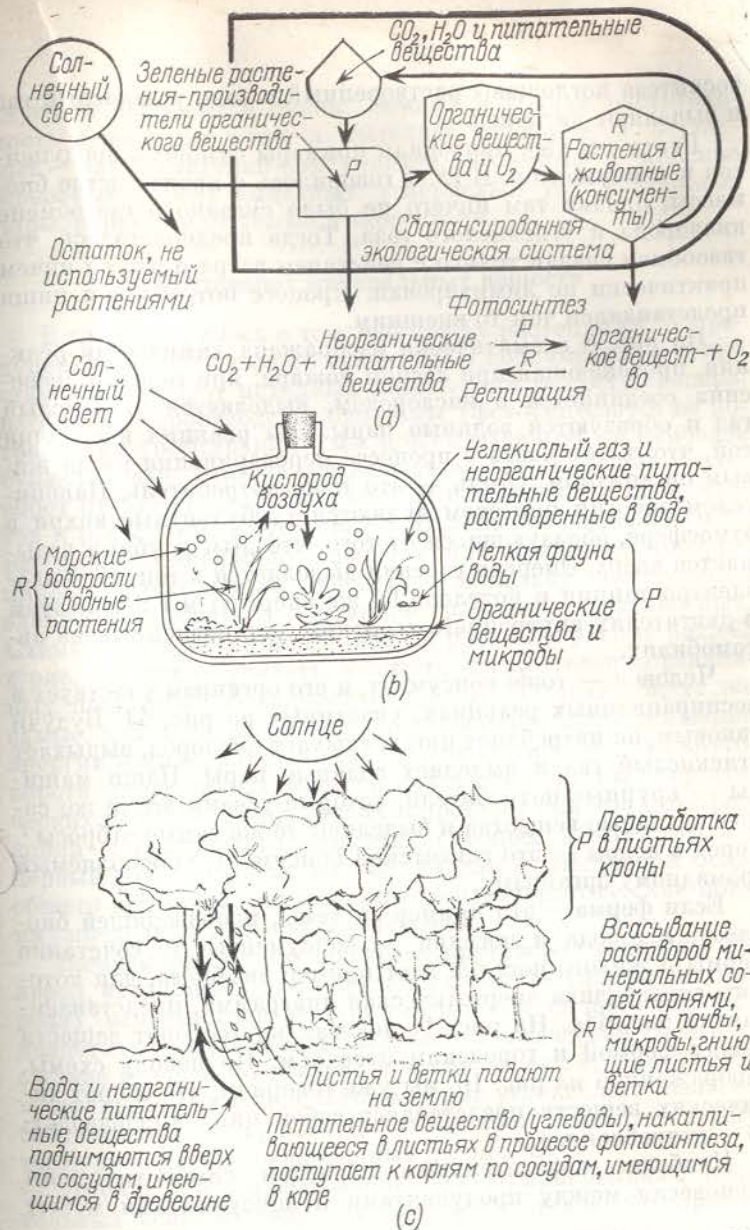


Рис. 41. Энергетические потоки, характерные для взаимосвязи синтез — потребление.

а) Энергетическая диаграмма. б) Экосистема аквариума. в) Цикл синтеза и потребления в экологической системе леса. Примечательно, что вода и минеральные питательные вещества движутся вверх, а органическое вещество — вниз.

тосинтеза поглощают растворенный в воде углекислый газ и выделяют кислород.

Ранее мы уже приводили примеры симбиоза продуцентов и консументов. В гл. 1 говорилось о производстве биомассы, однако там ничего не было сказано о газообмене кислорода и углекислого газа. Тогда предполагалось, что газообмен связан только с действием ветра и что он ничем практически не лимитирован. Процесс потребления пищи представлялся чем-то внешним.

На рис. 8 схематически изображена химическая реакция, протекающая при лесном пожаре: при горении древесины соединяется с кислородом, выделяется углекислый газ и образуются водяные пары. Эта реакция идентична той, что имеет место в процессе переваривания пищи живым организмом. Огонь — это тоже потребитель. Накопителем энергии при этом являются турбулентные вихри в атмосфере, образующиеся от того, что дым клубами вздымается вверх. Энергия горения выделяется в топках теплоэлектростанции и котелен. Ту же энергию мы используем в двигателях внутреннего сгорания, установленных на автомобилях.

Человек — тоже консумент, и его организм участвует в респираторных реакциях, указанных на рис. 41. Будучи таковым, он потребляет пищу, вдыхает кислород, выдыхает углекислый газ и выделяет водяные пары. Наши машины — крупные потребители, которые усваивают те же самые исходные вещества и выделяют те же самые отбросы¹. Город в целом — это гигантский консумент, уподобляемый громадному организму.

Если ферма — это пример системы, производящей биомассу, а города и поселки — консументы, то сочетание фермы и жилого поселка дает пример симбиоза, для которого справедлива энергетическая диаграмма, представленная на рис. 41а. На рис. 14 показан кругооборот веществ между фермой и городским поселком. По поводу схемы, изображенной на рис. 16, мы уже говорили, что оборот химических веществ представляет собой цикл «производство — потребление».

Наиболее показательным образцом симбиотического равновесия между продуцентами и консументами может

¹ Это утверждение справедливо только в отношении тепловых машин. — *Прим. ред.*

служить биосфера в целом. Земная и водная растительность производит пищу и выделяет кислород, а остальные — часть растений-консументов, наземные и морские животные, города выделяют углекислый газ и водяные пары, вновь утилизируемые в экосистеме.

Круговорот минеральных веществ

В гл. 3 говорилось о том, что между растениями — продуцентами органического вещества, и консументами существует круговорот исходных химических веществ. Теперь, рассказав о производстве биомассы (фотосинтезе) и ее потреблении (респирации), мы можем раскрыть те наиболее существенные химические вещества, совершающие круговорот от растений к консументам и обратно от консументов к растениям. Круговорот этих веществ разделяется на ряд циклов минеральных веществ, или, как иногда говорят, циклов питательных веществ, поскольку циркуляция элементов связана с питанием растений и животных. Схема такого цикла приведена на рис. 42. Сравнив рис. 42 с рис. 41, можно увидеть, что пути осуществления различных процессов, обозначенные на рис. 42 точками, те же самые, что и на рис. 41. Иными словами, пути движения энергии и минеральных веществ совпадают. Модель круговорота минеральных веществ как часть системы энергетических потоков, участвующих в процессе синтеза и потребления органического вещества (процесс «P-R»), была в первый раз приведена на рис. 14 для иллюстрации более общего принципа, согласно которому энергетические потоки определяют кругооборот веществ.

Важнейшим из них является круговорот углерода. Углерод, входящий в состав углекислого газа (двуокиси углерода), используется растениями в процессе фотосинтеза и является неотъемлемой частью органической пищи, в составе которой он поступает к консументам. Консументы возвращают углерод обратно в форму углекислого газа. Это, собственно, и завершает цикл. Следует отметить замкнутость процессов, изображенных на рис. 42.

Другой важной составной частью минеральных питательных веществ является фосфор. Этот элемент присутствует в воде и почве в составе хорошо растворимых химических веществ, носящих общее название фосфатов. В органический цикл фосфор может включаться в резуль-

тате разрушения минеральных пород, а также (в небольших количествах) при выпадении дождя или снега. Фосфаты участвуют в биологических процессах растений. К потребителям фосфор поступает в составе органического вещества, потребляемого ими в пищу. Свободный фосфор входит в состав отбросов; в частности, им богаты экскременты животных. Фосфорсодержащие удобрения, вносимые в почву, повышают урожайность сельскохозяйственных культур.



Рис. 42. Круговорот минеральных веществ в экосистемах. Процессы, обозначенные прерывистыми линиями, идут от растений-производителей органического вещества (процесс фотосинтеза — Р), к консументам, которые в результате респирации (R) создают запасы минеральных питательных веществ, вновь поступающих в цикл фотосинтеза. Энергетические потоки, соответствующие этой ситуации, показаны на рис. 46.

Еще одним важным минеральным питательным веществом является азот. Растения получают его из солей азота, растворенных в воде, используя его для создания белковых структур в синтезируемом ими органическом веществе. Поэтому азот содержится в пище, потребляемой консументами. В результате свободный азот, содержащийся в экскрементах животных, и соли азота, содержащиеся в прочих отходах, вновь вовлекаются в кругооборот, и растения вновь получают соли азота в виде, пригодном для повторного потребления. Химические соединения азота, встречающиеся в природе, весьма разнообразны: это соли аммония, нитриты, нитраты, органические аминокислоты и многие другие. Для наших целей достаточно иметь в виду главный цикл азота — на рис. 42 он изображен точками.

Вдыхаемый нами воздух на $\frac{4}{5}$ состоит из азота. Азот

может непосредственно входить в круговорот минеральных питательных веществ, если только система содержит специальные органические структуры и обладает избыточной энергией, необходимой для преобразования азота из газовой формы в форму солей, которые легче усваиваются растениями. Многие растения имеют корневые клубеньки, позволяющие фиксировать азот из атмосферы и переводить его в иную химическую форму, форму солей. В сельском хозяйстве промышленно развитых стран используются азотные удобрения; работа этих заводов, естественно, возможна лишь благодаря использованию энергии горючих ископаемых. Некоторая часть атмосферного азота превращается в нитраты под воздействием грозовых электрических разрядов (молний). Для осуществления всех этих превращений, для перевода азота в состав какого-либо химического соединения, легко усваиваемого растениями, необходимы значительные затраты энергии; следовательно, эта энергия должна быть отвлечена от других продуктивных процессов. Однако в наше время в круговороте имеется уже достаточное количество солей азота и специальные меры фиксации атмосферного азота не требуются, поэтому энергетические затраты здесь невелики.

То значение, которое имеют для экосистем три биогеохимических круговорота — углерода, азота и фосфора, можно уяснить, если рассмотреть роль каждого из этих элементов в жизнедеятельности экосистем. Углерод составляет около половины всей массы органического вещества на Земле. Соотношение между углеродом, азотом и фосфором в органическом веществе определяется пропорцией 100 : 16 : 1. Даже вода, потребляемая растениями при производстве органического вещества и снова освобождаемая консументами в виде выдыхаемых водяных паров и в составе выделений, является одним из элементов биогеохимического круговорота: вода состоит из водорода и кислорода, а оба эти элемента входят в круговорот веществ (см. рис. 41).

«Р—R»

Единство синтеза и потребления органического вещества представлено (схематически и подробно) на рис. 41. Процесс производства органического вещества — фотосинтез — обозначается буквой Р, процесс дыхания, респирации консументов — буквой R. Иногда это симбиотическое един-

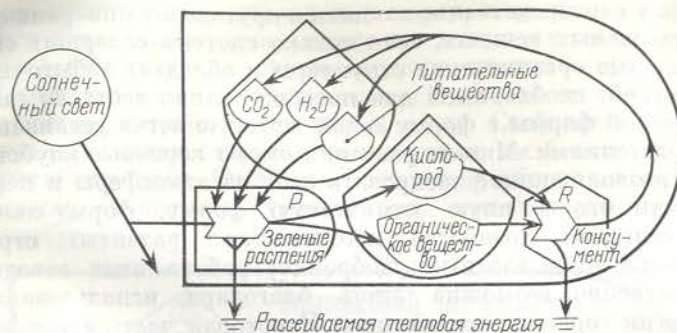


Рис. 43. Взаимосвязь продуцентов и консументов (P—R) в экологических системах. Химические вещества, участвующие в цикле P—R, показаны в отдельности. Примеры: экосистема аквариума, пруд, горный лес.

ство называют равновесием между синтезом и дыханием (равновесием P—R).

Схематическое изображение процессов позволяет представить их более или менее детально, в зависимости от того, разделим ли мы многообразные исходные вещества от побочных продуктов или же будем брать как общую группу. На рис. 41 простая система с двумя накопителями и потоками энергии без выделения отдельных компонентов химических реакций. На рис. 42—44 вещества, участвующие в реакциях, указаны по отдельности. На рис. 42 изображен не кругооборот энергии, а круговорот минеральных веществ. На рис. 43 показаны энергетические потоки, сопровождающие биогеохимические круговороты отдельных элементов. Рис. 44 отличается от рис. 43 тем, что в нем представлены процессы накопления органических структур у растений и у консументов.

Читатель может выразить недоумение по поводу того, что круговорот химических веществ (фосфора, углерода, органических соединений и т. п.) демонстрируется с помощью энергетических диаграмм. Это следует объяснить тем, что каждое из веществ характеризуется определенной энергетической составляющей, «вкладываемой» им в общий процесс. Таким образом, каждое вещество обеспечивает покрытие определенной части общих энергетических затрат. В одних случаях это может быть энергия высокого качества, в других — низкого. На схемах одним из побоч-

ных продуктов является рассеиваемая тепловая энергия, на что указывают стрелки, направленные вниз. К их числу относятся также минеральные питательные вещества, выделяемые одновременно с рассеиванием тепловой энергии. Рассеяние теплоты выносит ее за пределы экосистемы, а минеральные вещества вновь поступают в круговорот и вновь используются.

Пищевые цепи

На рис. 44 показано, какие три этапа проходит солнечная энергия при накоплении запасов органического вещества. Вначале солнечная энергия участвует в синтезе органического вещества в тканях растений. Затем органическое

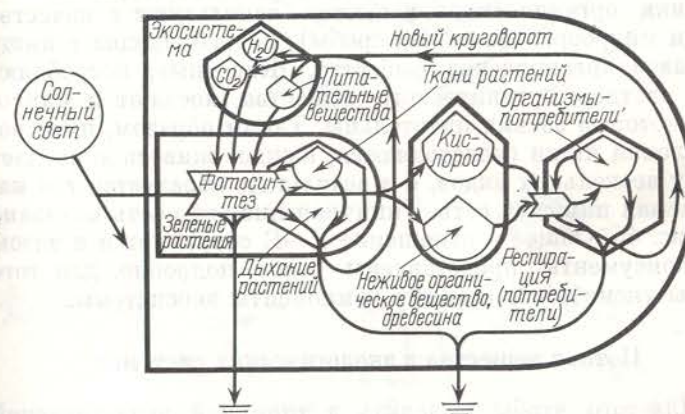


Рис. 44. Взаимосвязь продуцентов и консументов. В данном случае накопление органических веществ происходит в трех местах (тканях растений, в неживом органическом веществе — теле консументов, как это и имеет место в живой природе). Многие из путей, обеспечивающих круговорот веществ, здесь не показаны.

вещество преобразуется и принимает иную форму (древесины, сена). Наконец, на третьем этапе растительное органическое вещество преобразуется в организме консумента, например насекомых, поедающих древесину. Эти три этапа составляют цепь, причем на каждом этапе затрачивается определенное количество энергии. Качество энергии на каждом этапе повышается, как описывалось в гл. 2 (см. рис. 9). На рис. 44 отношения между продуцентом и кон-

сументом показаны в крупных деталях, но симбиотическое отношение между Р—Р сохраняется и здесь. Выводы, вытекающие из более простой диаграммы на рис. 41, остаются и для этого более сложного случая вполне справедливыми.

В большинстве экологических систем существуют гораздо более длинные пищевые цепи, содержащие по меньшей мере пять этапов, или звеньев. Например, в пруду, заселенном рыбой, мелкие водные организмы (планктон) питаются водорослями, а в свою очередь планктоном — мелкие рыбы. Мелкая рыба становится пищей окуней, а окуни — более крупных рыб. Однако эта пищевая цепь не составляет всю совокупность пищевых ресурсов, имеющих в пруду. Часть их образуется из частиц органического вещества, распределенных в толще воды и на дне пруда (тина). Эти остатки органического вещества используют в качестве пищи микроорганизмы (микробы), потребляющие неживое органическое вещество. Животные, потребляющие частицы органического вещества, поедают и микробов, которые весьма питательны. Таким образом, пути потребления пищи разветвляются, каждое животное поедает пищу нескольких видов, и в результате образуется так называемая пищевая сеть. Типичная пищевая сеть показана на рис. 45. Общее соотношение Р—Р сохраняется и здесь, но консументы представлены более подробно, для того чтобы уяснить все главные компоненты экосистемы.

Потоки вещества в экологических системах

Для того чтобы выделить в типичной экологической системе процессы синтеза, респирации и биологических круговоротов, в диаграммах и примерах, приводившихся в этой главе, фиксировались лишь замкнутые циклы круговорота веществ: ни органическое вещество, ни минеральные питательные вещества не поступали в систему и не уходили из нее. В экосистему поступала лишь энергия солнечного света, и на выходе экосистемы фиксировалось лишь рассеивание тепловой энергии. Однако в большинстве экологических систем имеют место как входящие, так и выходящие потоки различных веществ. Соответствующие примеры даны на рис. 46—48.

На рис. 46 на входе экологической системы поток органического вещества, респирация, характерная для нее, превышает продуктивность, а на выходе системы — минераль-

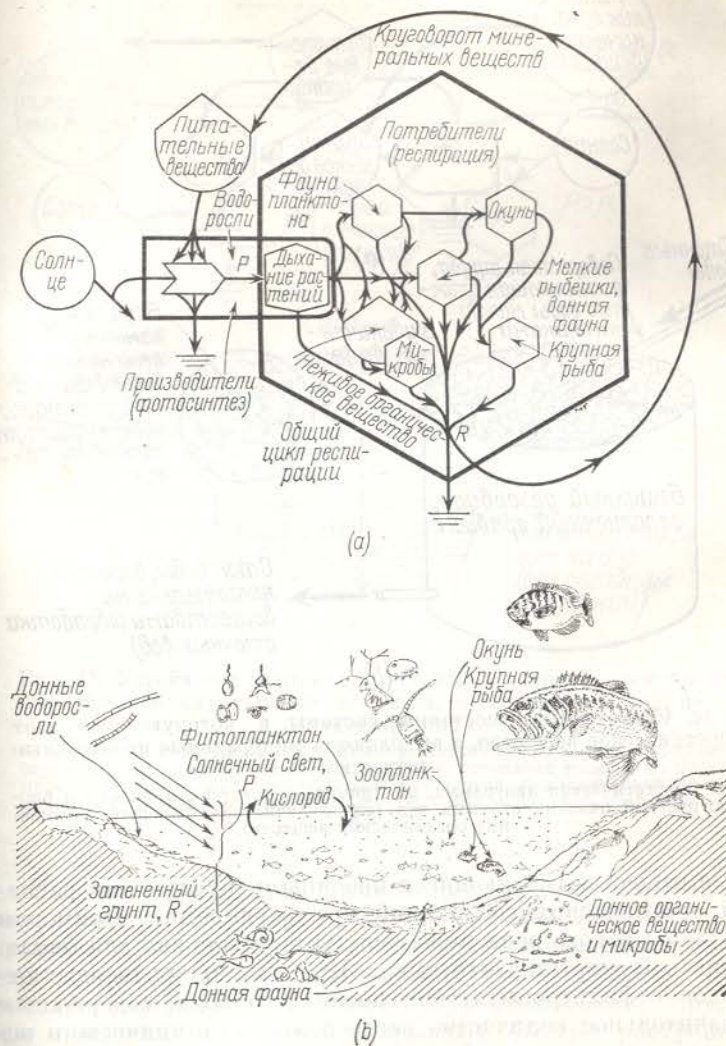


Рис. 45. Продуценты и консументы экосистемы водоема, звенья пищевой цепи здесь не показаны:
а) Энергетическая диаграмма. б) Водоем, здесь показано место живых организмов в пищевой цепи.

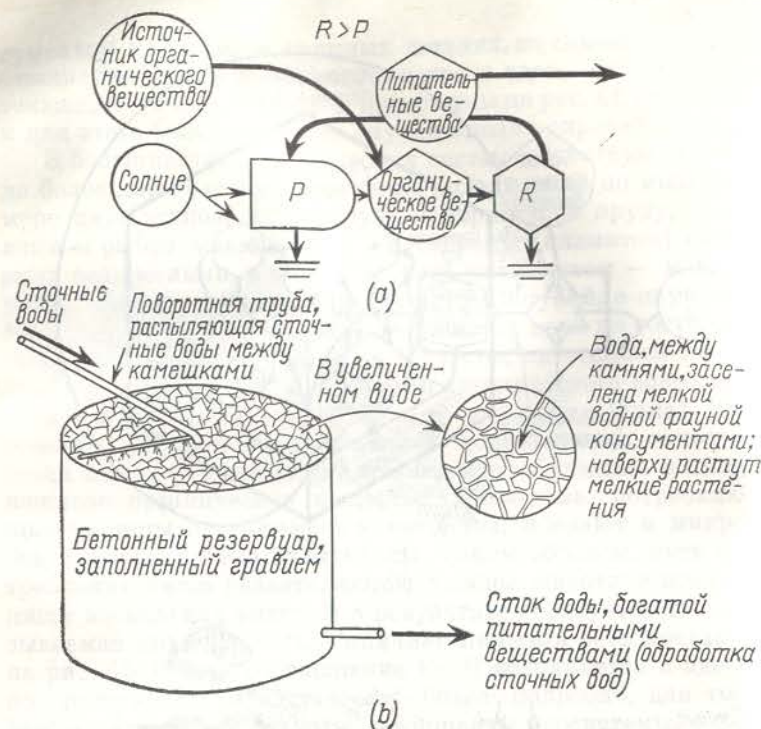


Рис. 46. Устойчивое состояние системы, в которую поступает органическое вещество, а выделяются минеральные питательные вещества:

а) Энергетическая диаграмма. б) Пример: экосистема с фильтром биологической очистки сточных вод (слово «очистка» означает разложение органических веществ).

ные вещества, являющиеся побочными продуктами распада органических соединений при респирации. Примером системы такого рода может служить установка для биологической очистки сточных вод. Крупные куски твердых отходов отфильтровываются, после чего вода, содержащая значительное количество растворенного органического вещества, поступает в фильтр вторичной экологической системой. В этом фильтре (рис. 46б) вода просачивается сквозь гравий, заселенный множеством микроскопических водных животных и бактерий, разлагающих органическое вещество.

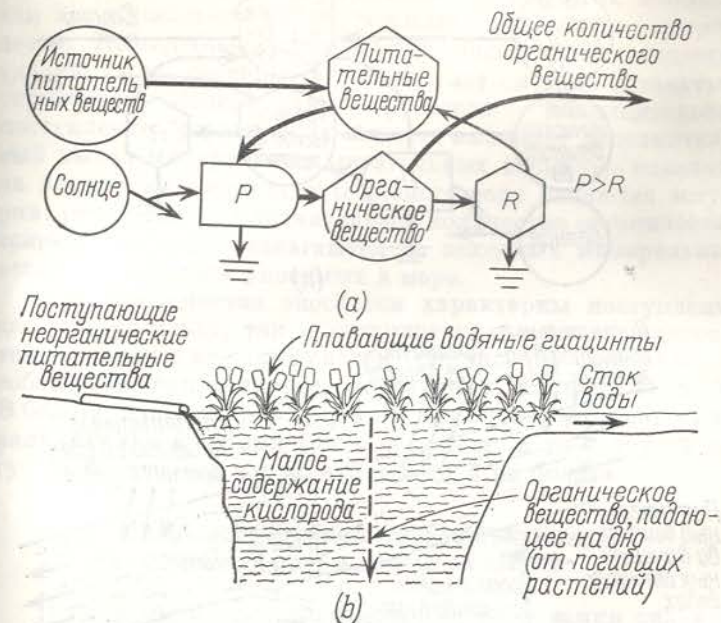


Рис. 47. Устойчивое состояние системы, в которую поступают минеральные питательные вещества, а выделяются органические вещества:

а) Энергетическая диаграмма. Пример. Эвтрофическое озеро, получающее минеральные питательные вещества со сточными водами. б) Эвтрофический пруд, заросший водными растениями. Водяные гиацинты усваивают вещества из очищенных сточных вод и создают слой тины на дне пруда.

На рис. 47 входящий поток неорганических минеральных веществ стимулирует фотосинтез таким образом, что продуктивность выше респирации и тем самым увеличивается производство полезных органических веществ. На рис. 47б изображено заросший (эвтрофический) пруд, всю поверхность которого покрывают быстро растущие плавающие растения — гиацинты. Экосистема водяных гиацинтов выделяет частично разложившиеся остатки, которые опускаются на дно озера или уносятся вниз по течению.

На рис. 48 изображена наиболее типичная экологическая система, в которую поступают как органическое веще-

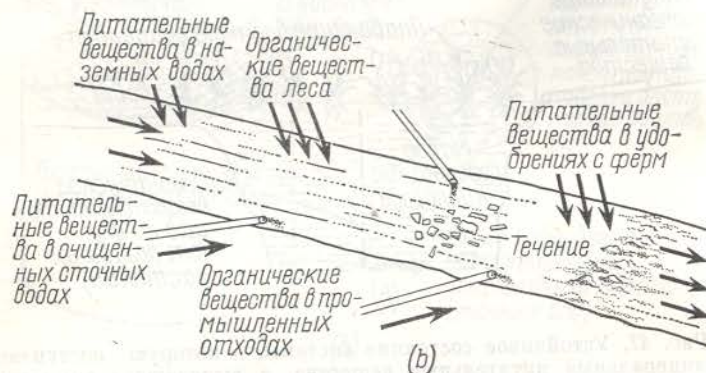
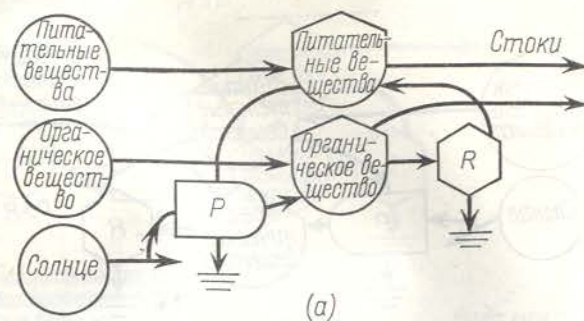


Рис. 48. Устойчивое состояние системы, которая получает и выделяет как минеральные, так и органические вещества. Эта диаграмма типична для большинства экологических систем.
а) Энергетическая диаграмма. б) Пример: обычная река.

ство, так и минеральные питательные вещества, в результате чего и фотосинтез, и респирация идут гораздо интенсивнее, чем это было бы без поступления этих веществ извне. В определенный момент времени один из этих процессов может преобладать над другим. Такого рода потоки веществ характерны для многих процессов в экосистеме.

Значительное количество органических веществ может поступать в систему, например, из верховьев реки или из городских канализационных труб. При поступлении органических веществ извне консументы имеют уже два источника пищи: один — фотосинтез в растениях, другой — внешний. В подобном случае консументы соответственно и выделяют в качестве побочных продуктов респирации

большее количество минеральных питательных веществ, чем при нормальном замкнутом цикле фотосинтез—потребление. Избыточные минеральные питательные вещества удаляются из системы, что позволяет системе оставаться устойчивой. Модель таких процессов — дополнительное поступление органических веществ вызывает дополнительный выход минеральных питательных веществ — показана на рис. 46. Экосистемами подобного рода являются эстуарии: река приносит значительное количество органических веществ, которые разлагаются до исходных минеральных веществ, с отливом уносимых в море.

Для большинства экосистем характерны поступления как минеральных, так и органических веществ; следовательно, многие из таких систем (см. рис. 46) представляют собой комбинации систем, показанных на рис. 47 и 48. В болота, например, во время паводка поступают как минеральные, так и органические вещества; и те и другие могут быть унесены водой, вытекающей из болота.

Валовая продукция, чистая продукция, чистый рост и полезный выход

В гл. 3 мы рассмотрели принцип выживания сильнейшего: в борьбе за существование между конкурирующими системами выживает та, в которой накопленные ресурсы энергии используются с помощью каналов обратной связи для введения дополнительной энергии или для обмена с внешними источниками, которые могут дать системе дополнительную энергию. Поэтому большинство успешно существующих систем содержит саморегулирующие механизмы обратной связи (см. рис. 12, 13, 14 и др.). На рис. 49 дается модель саморегулирующейся системы с обратной связью, с процессами понижения качества и «экспорта» энергии из основных ее «накопителей» в другую систему. Здесь же показано, что часть энергии система получает извне в обмен на экспорт ее. В диаграмме широко используются термины, определения которых даются ниже.

Валовой продукцией называется количество органического вещества Q , получающегося в результате осуществления решающих продуктивных процессов, в которых энергия, поступающая от источника E , преобразуется в энергию более высокого качества. Продуктивные процессы обладают каналами обратной связи F от хранилища Q и от

внешней системы X , из которой энергия поставляется в порядке обмена. Разность между энергетическим потоком Q , направленным вправо от линии раздела A , и противоположными энергетическими потоками F и X , направленными влево, составляет полезную энергию, получаемую в точке A . Эту полезную энергию можно назвать чистой продукцией экосистем в точке A .

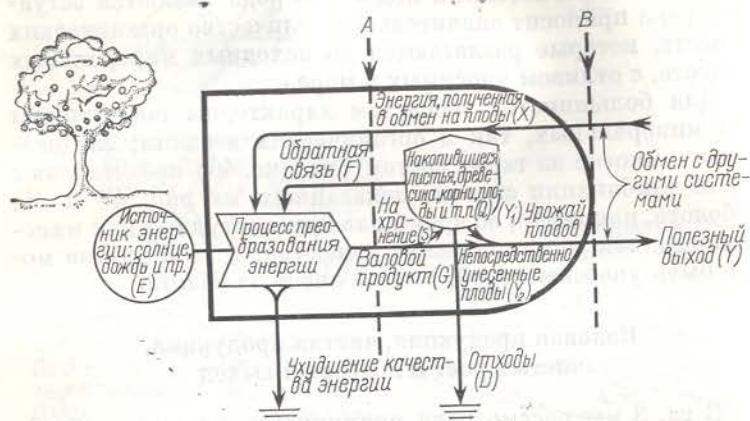


Рис. 49. Чистая (A) и валовая (G) продукция типичной экологической системы. Пример: фруктовое дерево дает пищу насекомым. В обмен на урожай плодов дерево получает полезную энергию. На рисунке показано несколько видов чистой продукции: чистая продукция $A = G - (F + X)$, весь полезный урожай или первичная валовая чистая продукция всего дерева $B = Y - X$ и чистый вклад в накопление вещества, обеспечивающее его рост (Q).

Выпуск полезной продукции U равен экспорту продуктов, содержащих высококачественную энергию, из системы. Он состоит из двух частей: U_1 — доли, поступающей из различных накопителей, и U_2 — произведенного продукта, непосредственно идущего на экспорт. Полезная продукция в нетто выражении есть чистая продукция экосистемы, вычисленная для точки B ; она равна разности между всей полезной продукцией и потоком высококачественной энергии X , «экспортируемой» в систему при обмене через линию раздела B .

Еще одним видом полезной энергии является чистый рост высококачественной энергии Q , величина которой равна разности между притоком S в накопитель энергии и тре-

мя видами затрат энергии: затрат на механизмы обратной связи F , на амортизацию накопителей энергии и на полезный выход U_1 . Модель, изображенную на рис. 49, можно применить к ферме с определенным числом фруктовых деревьев. Улавливая энергию солнечного света, деревья производят пищу — листья, корни, плоды и т. д. Результат процесса фотосинтеза равен валовому продукту. Однако часть произведенной пищи деревья сами же потребляют, поскольку она необходима им для питания их собственных клеток, листьев, тканей, стволов, корней и др. Таким образом, к концу суточного цикла обнаруживается, что значительную часть произведенной пищи деревья использовали в качестве источника энергии для поддержания собственного существования, осуществления ряда процессов и обеспечения механизмов обратной связи, необходимых для фиксации и преобразования солнечной энергии. Если дерево производит больше пищи, чем потребляет, оно будет расти. Это и есть чистая продукция биологических процессов. Предположим, что фермер регулярно собирает урожай фруктов. Этот урожай представляет собой чистую продукцию экосистемы, в данном случае фруктовых деревьев.

Экосистемы с выпуском полезной продукции

В гл. 1 мы уже рассмотрели работу фермы, из которой вывозятся на продажу продукты питания (выпуск полезной продукции) и для обеспечения функционирования которой поставляются удобрения и другие материалы, а также вкладываются дополнительные услуги. Многие экологические системы, функционирующие без участия человека, также «экспортируют» свои продукты в другие экосистемы или «поставляют» их человеку. Например, по берегам реки Силвер-Сирингс во Флориде имеется богатая растительность и обитает много животных. Плавающая в воде или используя течение реки, некоторые из этих животных поедают рыбу и водных насекомых. Многие торфяники, состоящие из останков животных и растений, покрывают земная растительность. Перегнивая, эта растительность увеличивает из года в год слой торфа. Иными словами, эта экосистема «экспортирует» органическое вещество в нижележащие зоны. Когда-нибудь этот торф, возможно, превратится в каменный уголь. Еще одним примером таких экосистем может служить миграция горбуши из моря вверх по

течению рек: горбуша переходит из одной экосистемы в другую и тем самым выходит за границы тех пищевых цепей, которые обеспечивают ее питание.

Передко человек, вырубая леса, вылавливая рыбу или добывая торф (см., например, рис. 20), утилизирует всю полезную продукцию, выносимую из экологических систем. Если потеря экосистемой минеральных питательных веществ не будет компенсироваться, то станет ощущаться нехватка необходимых элементов, произойдет истощение экосистемы, которая со временем может потерять способность производить полезную продукцию. Первые американские фермеры быстро истощали почву, поэтому они были вынуждены осваивать новые земли и продвигаться все дальше на запад. Плодородие заброшенных угодий со временем восстановилось благодаря тому, что минеральные питательные вещества поступали вместе с осадками и продуктами выветривания горных пород. В сельском хозяйстве, ведущемся современными методами, внесение удобрений в почву повышает ее урожайность. В экологических системах, в процессы которых человек не вмешивается, выход полезной продукции достигается лишь при условии, что река непрерывно получает из своих притоков новые минеральные питательные вещества.

Сукцессия видов

В накоплении органических и минеральных питательных веществ, в синтезе и потреблении участвуют различные организмы — растения, животные и микробы. Поскольку растения, микробы и насекомые быстро размножаются, доступ к экологическим системам легко получают организмы, приспособленные к различным энергетическим условиям. Распространение их популяций может происходить в почве, воде или воздухе. Для разных видов живых организмов оптимальные энергетические условия различны, так что виды могут последовательно сменять друг друга. К тому же отдельные виды в процессе эволюции приспособились к определенным условиям таким образом, что появление зародыша, рождение и начало жизни происходят именно тогда, когда условия для роста особи наиболее благоприятны. Последовательность популяций, существующая при переходе экологической системы в устойчивое состояние, называется сукцессией видов. Последними в

целом ряду популяций при сукцессии видов оказываются те из них, которые в состоянии возобновляться от поколения к поколению и находить себе место в устойчивой системе. Один вид последовательно заменяется другим таким образом, чтобы на каждом этапе развития экологической системы в нее входили виды, наиболее приспособленные к данным энергетическим условиям. Когда условия существования становятся подходящими, в систему начинают мигрировать крупные животные.

Примером сукцессии видов в экологической системе, существование которой начинается с избытка органического вещества, может послужить тарелка овощного супа, выставленная на подоконник в школьной столовой. Первыми появляются популяции бактерий, затем мелкие простейшие, поедающие других. В конечном счете, когда органическое вещество будет потреблено и накопятся минеральные вещества, появится плесень, а экосистема, основанная на потреблении световой энергии, будет уже устойчивой.

Примером сукцессии видов в экологической системе, существование которой начинается с избытка минеральных веществ, может служить поставленная на подоконник чашка с речной водой, в которую брошена щепотка земли. Вначале происходит интенсивный рост зеленых водорослей. Позднее появляются другие виды водорослей, микроскопическая фауна, а затем разнообразные виды мелких насекомых, которых можно найти в любом пруду. Виды живых организмов, появляющиеся первыми, специализированы таким образом, чтобы обеспечить быстрый рост и прирост. Позднее появляются виды, для которых характерны самосохранение и саморегуляция, но не быстрый рост. Все эти виды совместно поддерживают плодородие почвы, создают запасы минеральных питательных веществ, регулируют ход биологических процессов, обеспечивают хранение генетической информации и т. д. В целом сукцессия видов начинается с состояния низкой энергии, для которого характерны рост биомассы и отсутствие разнообразия, затем специализация видов и повышение уровня разнообразия в системе.

Переходное и устойчивое состояние

В гл. 5 мы показали, каким образом энергия определяет форму графиков роста системы. В модели водонапорной башни, показанной на рис. 22, форма графика, характери-

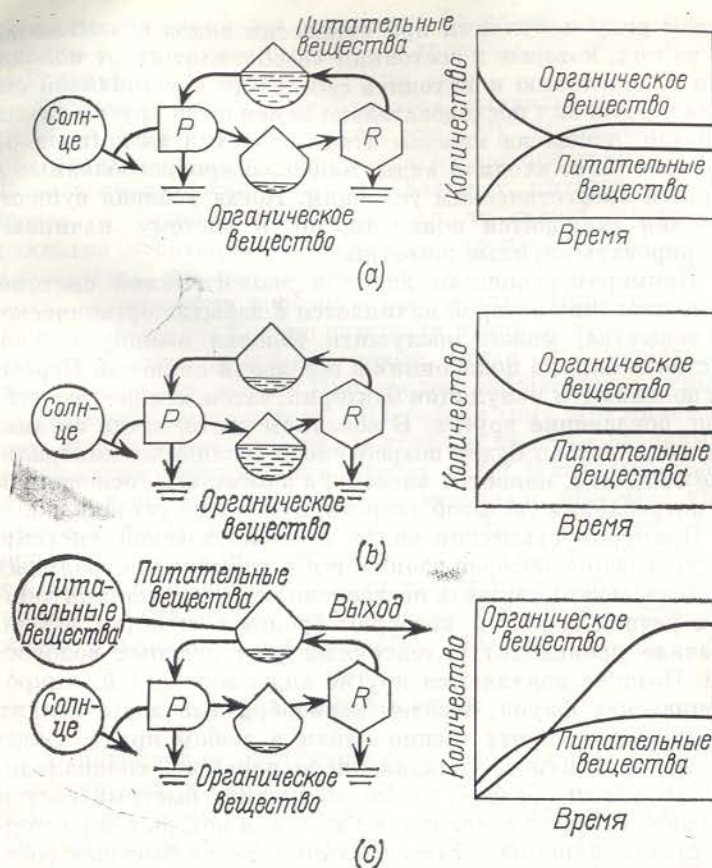


Рис. 50. Кривые роста экосистем с различными исходными условиями:

а) В начальном состоянии имеется избыток минеральных питательных веществ. Пример: аквариум, в который с самого начала засыпаны питательные вещества. б) В начальном состоянии имеется избыток органического вещества. Пример: террариум, в котором с самого начала сделана подстилка из листьев. в) В начальном состоянии запасы малы; необходимо добавление извне минеральных питательных веществ. Пример: рыбный осадок, в который вносятся удобрения.

зующего зависимость уровня воды от времени, зависит прежде всего от начального уровня воды и, кроме того, от степени устойчивости при данном источнике энергии. Общей модели «синтез-потребление», рассмотренной в этой главе, соответствуют аналогичные графики, позволяющие

проследить переход от начального к устойчивому состоянию (см. рис. 50). Если вначале имеет место высокая концентрация минеральных веществ и низкая концентрация органических веществ (рис. 50а), затем по мере синтеза органического вещества количество минеральных веществ снижается, а объем органических веществ увеличивается. И наоборот, если вначале концентрация органических веществ велика, а минеральных веществ мала (рис. 50б), то быстрее всего идет процесс потребления органического вещества, в результате его количество резко уменьшается, а количество минеральных веществ растет. Если общее количество веществ, как минеральных, так и органических, при обоих начальных условиях одинаково, одинаково будет и устойчивое состояние, что хорошо видно на рис. 50а, 50б.

В схему на рис. 50с добавлен внешний источник минеральных веществ, который позволяет системе развиваться до более высокого уровня содержания органического вещества, прежде чем количество минеральных веществ станет лимитирующим фактором. В поле под паром почва постепенно накапливает минеральные питательные вещества, получая их за счет осадков и продуктов выветривания горных пород. Благодаря этому в экосистеме поддерживается рост производства органического вещества, приводящий в конечном счете к тому, что на месте пустыши вырастает лес.

Состояние окончательного равновесия экосистемы иногда называют климаксом. В этом состоянии все процессы в системе из года в год самовозобновляются. Однако многие из них столь часто подвержены влиянию резких внешних изменений, что никогда не получают возможности достичь устойчивого состояния. Нередко развитие системы к устойчивости прерывается вносом новых веществ, что вынуждает экосистему искать пути достижения нового равновесия.

Эвтрофия и олиготрофия

Слово «эвтрофия» вошло в наш повседневный язык в связи с ведущимися в последние годы дискуссиями относительно загрязнения природных вод. Но в этих дискуссиях оно зачастую используется не в том смысле, в каком оно употребляется в науке. Эвтрофическим называют озеро, поверхность которого густо заросла водяными растениями и водорослями, вследствие чего в нем бурно идут как процес-

сы фотосинтеза, так и процессы потребления органического вещества. Это экологическая система с высокой скоростью энергообмена. Многие из естественных водоемов становятся эвтрофическими даже без всякого внесения каких-либо отходов промышленного производства. Вода в них зеленая от изобилия водорослей и водных растений, но тем не менее она создает условия для гармоничной, процветающей и непрерывной жизни многих видов животных и растений.

Противоположным по значению термином является «олиготропия», что означает бесплодие. Олиготропические водоемы — те, в которых мало минеральных питательных веществ. Поэтому вода в них, как правило, прозрачная, пригодная для питья, но не для поддержания жизни. В свое время прилагались немалые усилия для повышения продуктивности олиготропических прудов и озер, с тем чтобы получать от них больше рыбы. За последние годы загрязнение отходами промышленного производства приняло такие размеры, что олиготропические водоемы становятся редкостью.

В некоторых популярных книгах эвтрофические озера, ставшие таковыми из-за сброса отходов промышленного производства, описываются как мертвые. Это неправильно — в эвтрофическом озере кипит жизнь. Эта жизнь может быть настолько интенсивной, что иногда в озере появляется слишком много консументов. В зимние периоды респирация может настолько превышать продуктивность, что будет не хватать кислорода и рыба погибнет. В недавно образовавшихся эвтрофических озерах в отличие от старых нет животных и растений, приспособившихся к жизни в условиях иного содержания кислорода в воде. Кроме того, вода озер, которые стали эвтрофическими из-за отходов, может содержать ядовитые вещества, и это порой препятствует достижению экосистемой равновесия.

Продуценты и консументы различных зон и слоев экосистемы

Поскольку интенсивный рост совершается вблизи источников энергии, продуценты стремятся расположиться внутри экологической системы таким образом, чтобы быть поближе к солнечному свету, а потребители — к местам скопления органического вещества. В озерах продуценты

(водоросли и другие растения) растут в освещенных зонах, ближе к поверхности воды. Консументы (микробы и мелкая фауна) — на дне или в тине. То же распределение можно наблюдать в экосистеме леса: крона деревьев тянется к солнечному свету, а консументы (корни, стволы, животные и почвенные микробы) расположены ниже.

Поступление органических веществ к консументам в экологических системах обеспечивается за счет силы тяжести. Минеральные вещества поступают вверх, к продуцентам, с помощью иных механизмов — сосудов в стволах деревьев и др. В водных экосистемах может иметь место турбулентная циркуляция, вызываемая ветрами, течениями и волнами. В других экосистемах роль переносчиков минеральных питательных веществ выполняют некоторые животные, которые поедают пищу в одной зоне, оставляя отбросы в другой. Например, в озерах и морях рыба ночью поднимается к поверхности, а днем уходит на глубину.

Разнообразие

В гл. 6 (рис. 40) мы отмечали, что потоки энергии, обеспечивающие определенный уровень организации системы, вначале направлены на упрочение системы. Затем они вносят свой вклад в повышение уровня ее разнообразия, благодаря чему повышается эффективность использования энергии и привлекаются дополнительные источники энергии. В экологических системах разнообразие принимает форму увеличения общего числа биологических видов, каждый из которых специфическим для него образом приспособляется к окружающей среде.

Разнообразие (разнородность) видов можно измерить, подсчитав их количество для каждой стандартной выборки. Например, выборка из тысячи деревьев может содержать двадцать видов древесных пород. Принято считать разнообразие пород леса низким, если такая выборка содержит менее пяти пород деревьев, и высоким, если она содержит более тридцати. Понятие разнообразия часто используют для определения числа энергетических источников системы. Для системы с его высоким уровнем характерны разделение труда и специализация видов, что позволяет более эффективно использовать источники энергии. Разнообразие пород деревьев, к примеру, облегчает

им доступ к солнечному свету, минеральным питательным веществам и воде. Уровень разнообразия видов после завершения сукцессии зависит от того, какое количество энергии может быть направлено на повышение разнообразия, если, конечно, энергетически обеспечены решающие процессы в экосистеме.

В климатических зонах, отличающихся четко выраженной сменой времен года (лето и зима в горах, влажный и сухой сезоны в тропиках), наиболее приспособленными к изменяющимся условиям существования являются те экологические системы, в которых преобразование энергии связано с сезонными изменениями поступающей энергии. Например, многие виды деревьев в холодное или сухое время года сбрасывают листву, а когда снова становится тепло или дождливо, восстанавливают ее. Многие животные в периоды, когда окружающие условия неблагоприятны, впадают в спячку. В море у микроскопических растений (водорослей планктона) относительное число особей разных видов подвержено сезонным изменениям в зависимости от поступления минеральных питательных веществ. Все эти механизмы приспособления к сезонным изменениям условий существования требуют дополнительных затрат энергии, идущей на создание специальных биологических структур, осуществление особых биологических процессов и замещение одних видов другими. Сезонные изменения приводят к тому, что уровень разнообразия видов поддерживается на протяжении всего года, а не какого-либо одного времени года. В некоторых тропических районах, где сезонные изменения невелики, уровень разнообразия поддерживается постоянно, и живые организмы развили специальные приспособления, которые облегчают совместное существование разных видов. Хорошо приспособленными для существования в условиях высокого уровня видового разнообразия оказываются живые организмы, которые выработали сложные механизмы поведения (яркая окраска, специальные звуковые сигналы и т. п.), различающиеся у особей каждого вида.

Поскольку развитие некоторых систем начинается с накопления большого количества энергии и исходных веществ, в период сукцессии видов оно может идти быстрее, чем в устойчивом состоянии (см. рис. 28). Тогда в период максимального роста уровень разнообразия может быть выше, чем этот уровень в других периодах.

Разнообразие биологических видов может быть ограничено общим числом видов, живущих в длинном ареале. В эстуарии прилив обычно приносит огромное число разных организмов, но некоторые районы, такие, как изолированные острова, могут быть сравнительно мало доступны для отдельных популяций растений и животных. Поэтому на изолированном острове экологическая система может быть менее разнородной, чем в другой местности. Меньший уровень разнообразия флоры и фауны на изолированных островах обусловлен тем, что для переноса новых

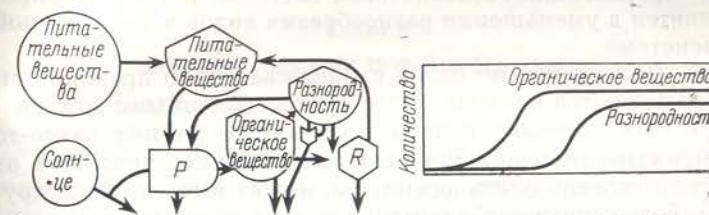


Рис. 51. Схема повышения разнообразия в экосистеме и ее изменения при росте и сукцессии видов, когда извне вносятся минеральные питательные вещества.

видов необходимы большие затраты энергии. В этих экосистемах виды, обреченные на вымирание, могут заменяться другими видами далеко не сразу.

Схема повышения уровня разнообразия при сукцессии видов дана на рис. 51. Разнообразие видов является одной из форм сохранения высококачественной энергии; для поддержания этой формы упорядочения информации требуются дополнительные затраты энергии, причем механизмы обратной связи способствуют ее привлечению. Повышение уровня разнообразия улучшает использование энергии с помощью механизмов обратной связи потому, что при его высоком уровне существует несколько ступеней преобразования энергии.

На рис. 51 шестиугольник, обозначающий блок потребления, использован для обозначения иных процессов. При поступлении на вход блока потребления энергии, различной по виду, можно, не описывая внутреннее устройство этого блока, построить на его входе блок, обозначающий внутренние взаимодействия.

Разнообразие и внезапные изменения внешней среды

Если экологическая система подвергается внезапному воздействию извне и источники ее энергии иссякают, она лишается энергии, которую могла бы использовать для совершения той или иной работы, построения биологических структур и повышения уровня их разнообразия. Поэтому такие внешние воздействия, как сбор урожая или сброс ядовитых химических веществ, снижают общий уровень организации экологической системы. Нередко это проявляется в уменьшении разнообразия видов в той или иной экосистеме.

Если воздействие извне продолжается, то прежние виды заменяются новыми, более приспособленными для жизни в этих условиях и даже получающие от них какое-то количество энергии. Так, сильное течение, уносящее от места обитания одни организмы, может быть полезно другим, более приспособленным к новым условиям: им остается больше пищи. Адаптируясь к новым энергетическим условиям, живые организмы могут разнообразить функции своего организма. Тем самым видовое разнообразие экосистемы замещается разнообразием функций организма. Для многих экологических систем в тех случаях, когда поступление энергии велико, характерен низкий уровень разнообразия видов и одновременно высокий уровень развития специальных приспособительных механизмов, используемых каждым видом. На песчаном побережье, например, обитают животные лишь нескольких видов, но каждое из них обладает рядом специальных механизмов адаптации, которые нуждаются в поступающей извне энергии. Примером этого может служить и поведение моллюсков и крабов: после того как прилив перенес их на новое место, они сразу же зарываются в песок.

Глава 8

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОТОКИ НА ЗЕМЛЕ

Во всей Вселенной — от молекул до необозримых звездных систем — энергия является движущей силой, обеспечивающей упорядочение природных процессов, и подчиняется одним и тем же законам. Основой жизни человека на планете Земля также являются потоки энергии, проявляющиеся в самых различных формах: здесь и метеорологические процессы, и океанские течения, и крупные биогеохимические круговороты, в ходе которых возникают и разрушаются горные массивы. Благодаря таким круговоротам обеспечивается накопление в недрах Земли запасов полезных ископаемых — угля, нефти, железной руды, минеральных полезных ископаемых веществ и т. д. Чтобы уяснить, каковы пределы деятельности человека, мы должны выяснить роль энергии во всех природных экосистемах.

Системы жизнеобеспечения

Основу функционирования всех природных экосистем составляет (прямо или косвенно) солнечная энергия. Тот, кто полагает, что человек не использует энергию Солнца, заблуждается; полезная солнечная энергия затрачивается на образование воздушных и водных течений, на поддержание биогеохимических процессов. Иногда эти биогеохимические круговороты и процессы называют системами жизнеобеспечения. Когда впервые осуществлялась космическая программа полета человека на Луну, самыми важными и дорогостоящими частями бортового оборудования

(которые в конечном итоге и ограничили время пребывания людей в космическом пространстве) были машины, приборы и предметы личного пользования, составлявшие систему жизнеобеспечения космонавтов. Они нуждались в продуктах питания, воде и кислороде. Кроме того, необходимо было создать специальную техническую систему для переработки отходов, в частности поглощения углекислого газа, переработки экскрементов (см. рис. 41). На борту космического корабля важно было поддерживать чистоту воздуха и воды. Однако еще до того, как человек начал создавать искусственные, он широко использовал естественные системы жизнеобеспечения.

Гигантская естественная система жизнеобеспечения, существующая на Земле, не только обеспечивает постоянное обновление воздуха, воды и почвы, но и сохраняет до настоящего времени способность поглощать огромные выбросы вредных и ядовитых веществ, являющихся побочными результатами деятельности людей. Лишь в ряде мест концентрация этих веществ достигла опасного для жизни человека уровня. Система жизнеобеспечения восстанавливает плодородие почвы и поддерживает круговорот воды и химических веществ, необходимых для производства пищи. Колоссальные энергетические потоки, связанные с подобными планетарными по своим масштабам процессами, не стоят человечеству ни гроша. В экономической системе деньги вкладываются в те энергетические потоки, которые создаются и направляются людьми. Поэтому мы зачастую упускаем из виду, насколько велика и важна для нашего существования система жизнеобеспечения биосферы; мы вспоминаем о ней, предпринимая попытки обойтись без нее или же сталкиваясь с ее разрушением в условиях ускоренного роста экономики. Если рассмотреть круговорот атмосферного воздуха, океанской воды и геохимических веществ, то можно увидеть, что каждая из этих подсистем биосферы обладает чертами, характерными для всех энергетических систем: каждая из них накапливает высококачественную энергию, использует каналы обратной связи для введения в накопители дополнительной энергии и обеспечивает очерченный цикл круговорота химических веществ.

Солнечная энергия

Свет, излучаемый Солнцем в космическое пространство, достигает поверхности Земли. Спектр света состоит из

лучей различной интенсивности: лучей высокой энергии, или ультрафиолетовой части, лучей с энергией средней величины — видимый свет, и невидимых лучей невысокой энергии, или инфракрасной части спектра. Распределение солнечных лучей по энергии показано на рис. 52.

Энергия ультрафиолетовых лучей большей частью поглощается при химических реакциях, осуществляющихся в атмосфере и почве. Энергия этих лучей настолько велика, что они способны убивать некоторые виды бактерий. Види-



Рис. 52. Энергетический состав солнечного света, достигающего поверхности земли.

мый свет используется растениями в химических реакциях и фотосинтезе (см. рис. 41). Энергия инфракрасных лучей поглощается главным образом поверхностью материков и морей, которые при этом нагреваются пропорционально количеству поглощенной тепловой энергии. Некоторая часть лучей всех видов отражается от поверхности различных предметов и излучается обратно в космическое пространство. Из всей солнечной энергии, достигшей поверхности Земли, около 25% отражается обратно, не произведя на Земле никакой работы.

Продукты химических реакций и фотосинтеза вносят свой энергетический вклад в работу биосферы. Растительная пища, полученная в процессе фотосинтеза и не использованная микроорганизмами, животными, людьми или другими консументами, в конечном счете оказывается погребенной в недрах Земли и хранится там в виде каменного угля или нефти. Древесная растительность вначале прев-

ращается в пористый торф, а торф со временем в условиях высоких температур и давления превращается в каменный уголь. Морские водоросли, падая на дно морей, под воздействием тех же факторов превращаются в нефть.

Тепловая энергия, поглощаемая сушией и морями и выделяемая в ходе химических реакций, протекающих при участии инфракрасных и ультрафиолетовых лучей, способна совершать определенную работу. Количество этой тепловой энергии, измеряемое в Калориях, огромно. Однако, поскольку рассеиваемая тепловая энергия низка по своему качеству, следует разъяснить, при каких условиях она в состоянии выполнять работу. Это оказывается возможным лишь в том случае, когда теплота распределена неравномерно. Паровые машины работают на том же принципе разности температур, что и ветры в атмосфере; поэтому мы иногда говорим, что атмосфера Земли является гигантской «термодинамической машиной».

Потенциальная энергия и разность температур

Чтобы понять, как функционирует биосфера, нам необходимо уяснить себе принцип работы «термодинамической машины». Напомним, что равномерно распределенную теплоту мы называли энергией низкого качества, непригодной для осуществления полезной работы. Движение молекул распределяется по всем направлениям столь равномерно, что не существует способа преобразовать эти движения в полезную работу, не затрачивая на это дополнительной энергии. Температура — это определенная степень концентрации энергии: если нет разности температур, теплота распределена равномерно.

Если, однако, наблюдается неравномерность в концентрации теплоты (разность температур), то ту часть тепловой энергии, в которой выявляется разница в уровнях температуры, можно использовать для получения работы¹.

¹ Эта часть тепловой энергии выражается в так называемом принципе Карно, по имени французского ученого Никола Ленар Сади Карно (1796—1832), согласно которому только разница температур обуславливает движущую силу (работу), которую можно получить при посредстве теплоты. Эта работа может быть вычислена и есть отношение разности температур к более высокой температуре. Тепловая энергия, способная совершить работу,

равна $\frac{\text{разница в уровнях температуры}}{\text{более высокая температура}}$.

Предположим, что сосуды А и В (см. рис. 53) наполнены водой. Напор воды в этом случае может создаться только в силу того, что высота обоих водяных столбов различна, и, значит, за счет энергии, создаваемой разницей в уровнях воды в этих сосудах, можно выполнить полезную работу. Тепловой поток схож с водным потоком: в обоих случаях используется различие энергетических уровней.

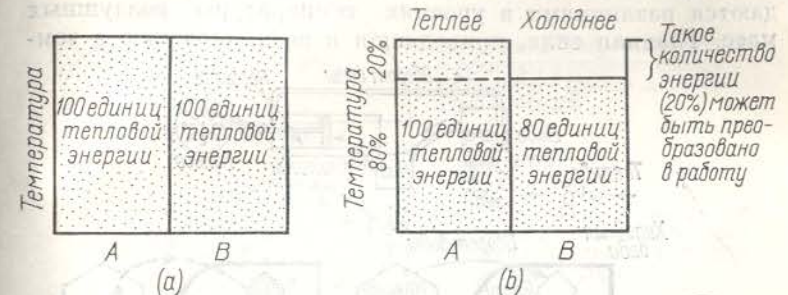


Рис. 53. Не всю энергию можно использовать для производства работы:

а) Когда разность температур между сосудами А и В отсутствует, работу произвести нельзя. б) Полезную работу может произвести лишь та часть тепловой энергии, которая связана с разностью температур.

Схема, приведенная на рис. 53, позволяет сравнить два примера. В одном случае разность температур не наблюдается, в другом — эта разность существует.

Всякий раз, когда вследствие нагрева атмосферы в ней возникает разность температур, потенциальная тепловая энергия вызывает движение воздушных потоков. Так в атмосфере возникают ветры; аналогичным образом солнечная энергия создает и океанские течения. Циклические процессы при наличии разности температур называют термодинамической машиной. Люди также строят тепловые

Для проведения расчетов по этой формуле необходимо пользоваться шкалой температур, принятой в физике. На этой шкале в отличие от шкал Фаренгейта и Цельсия нулевая точка определяется как температура, при которой отсутствует какая-либо тепловая энергия (нет движения молекул). Точка, где отсутствует какое-либо молекулярное движение, называется абсолютным нулем. Считается, что абсолютный нуль соответствует температуре -273°C . Наиболее низкие температуры, достигнутые в научных лабораториях, отличаются от абсолютного нуля всего долями градуса. Для проведения расчетов по этой формуле следует подставить в знаменатель температуру в градусах Цельсия $+273^\circ\text{C}$.

машины (паровые машины, автомобильные двигатели, реактивные турбины и т. п.), в которых используется потенциальная энергия, связанная с разностью температур (см. рис. 54). Более подробно об этом будет сказано в гл. 10.

Ветры — энергетическая система атмосферы

Ветры от вечернего бриза до ревущего урагана порождаются различиями в уровнях температуры воздушных масс. Главная сила, приводящая к возникновению в зем-

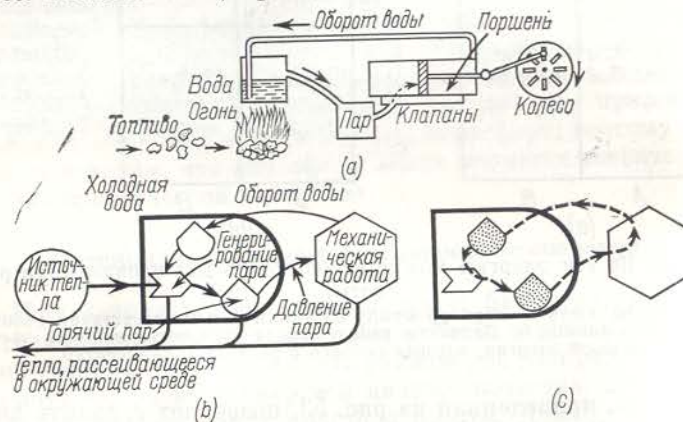


Рис. 54. В паровой машине разность температур превращается в полезную механическую работу:

а) Паровая машина. б) Энергетические потоки. в) Круговорот воды.

ной атмосфере воздушных течений, бурь и т. п., — разность температур воздушных масс в тропических и полярных районах. В силу того что в тропических районах солнечные лучи падают более круто и количество солнечных дней в году больше, чем в районах за Полярным кругом, они получают больше тепла.

Тепловая энергия, обусловленная разностью температур, вызывает круговорот воздушных масс в атмосфере. Происходит это так. В теплых районах Земли воздух в результате нагревания расширяется. Это заставляет его подниматься и перемещаться в верхние слои атмосферы (рис. 55а). Таким образом, атмосфера в тропиках оказывается «толще» и воздушные массы отсюда «стремятся» к полюсам. В средних широтах часть воздуха опускается

вниз, завершая цикл круговорота. Остальные потоки идут к полюсам. В полярных районах воздух охлаждается и опускается вниз, сжимаясь в плотную массу, пока его удельный вес не станет достаточным, чтобы вызвать потоки воздуха из полярных районов вновь в тропические. Из-за вращения Земли при циркуляции воздуха образуются до-

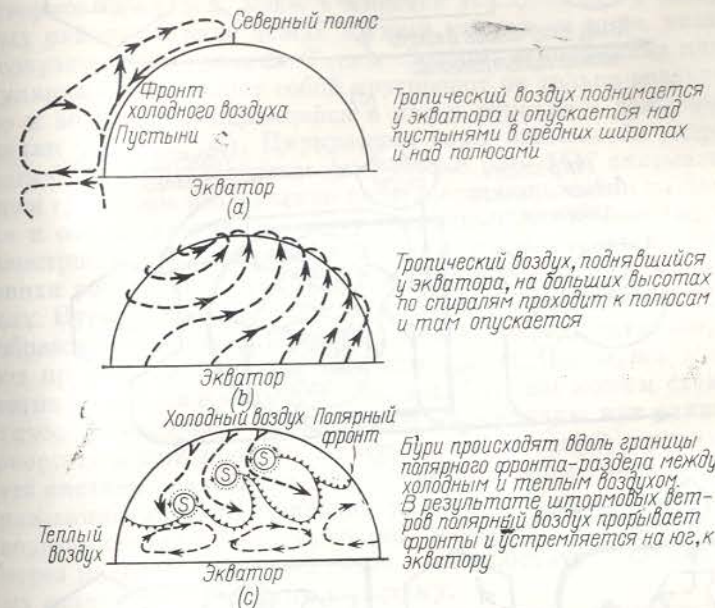


Рис. 55. Энергетическая система атмосферы:

а) Общая схема круговорота. б) Ветры в верхних слоях атмосферы. в) Ветры у поверхности земли. Показано, как возле границы полярного фронта развиваются бури, отбрасывающие холодный воздух к тропикам.

полнительные вихри и потоки. Однако основной причиной возникновения ветров и изменения их направления остается разность температур тропических и полярных районов.

Когда холодный полярный воздух перемещается на юг, он сталкивается с теплым, влажным тропическим воздухом. В месте их соприкосновения наблюдается большая разность температур. Энергия, обусловленная этой разностью, в состоянии привести в движение мощную термодинамическую машину. В результате возникают штормовые ветры.

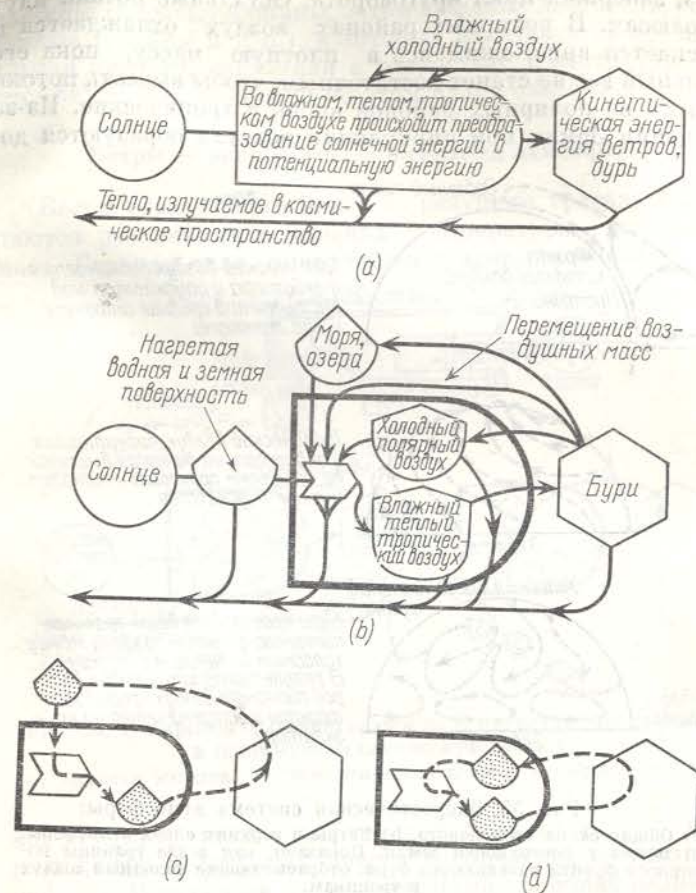


Рис. 56. Энергетические потоки и круговорот веществ в атмосфере: а) Упрощенная схема энергетических потоков. б) Детализированная схема энергетических потоков. в) Гидрологический цикл. г) Атмосферный цикл.

Граница раздела между холодными полярными и теплыми тропическими воздушными массами называется полярным фронтом. Холодные и теплые воздушные массы, двигаясь по спирали относительно друг друга, вызывают бури вдоль зоны полярного фронта, как показано на рис. 55с. Эти перемещающиеся по спирали воздушные массы сопровождаются сильными ветрами, которые переносят полярный воздух в тропики. Там он нагревается, насыщается влагой и

возобновляет свое движение в бесконечной циркуляции атмосферного воздуха.

Вода теплых тропических морей, испаряясь, уносит с собой часть энергии, накопленной в море. Когда же во время бурь водяные пары вновь конденсируются в дождевые капли, эта энергия высвобождается, повышая скорость штормовых вихрей. Вода, в избытке выпадающая в северных районах в виде дождя и снега, стекая в море, вновь возвращается в тропики. Таким образом, атмосферная циркуляция представляет собой круговорот не только воздуха, но и воды, превращающейся в пар и обратно в дождевые капли (см. рис. 56). Циркуляция воды называется гидрологическим круговоротом (см. также рис. 14), оказывающим громадное воздействие на поддержание жизни на Земле и обеспечивающим работу созданных человеком гидроэлектростанций, а также делящуюся многие геологические эпохи работу рек, пробивающих себе путь в горных породах. Бури — завершающее звено в цепи качественных преобразований энергии. Циклоны в свою очередь активизируют процесс циркуляции всей атмосферы. Пользуясь энергетическими диаграммами (см. рис. 56), мы можем схематически отобразить атмосферную циркуляцию как единый энергетический процесс. Отметим, что по общей структуре эта система аналогична тем из них, в которых цепь преобразования энергии приводит в конечном счете к производству энергии более высокого качества. Последняя — через механизм обратной связи — способствует дальнейшему поступлению энергии в систему.

Незначительная разность температур атмосферных масс является тем механизмом, который приводит в движение колоссальные воздушные массы. Циркуляция огромных воздушных потоков, в частности столкновение в средних широтах влажного тропического и холодного воздуха, приводит к преобразованию качества энергии. Энергия, выделяющаяся при столкновении воздушных потоков, порождает циклоны, движущиеся вдоль фронта столкновения воздушных потоков. Эти ветры, в свою очередь помогают перемещению из районов экватора и полюсов еще больших воздушных масс, взаимодействующих между собой. Воздействие штормовых ветров, улучшающих циркуляцию в атмосфере, вполне резонно сравнить с эффектом шарикоподшипников. «Погодная система» в целом, для которой характерны как планетарные процессы, так и мень-

шие по масштабу, но интенсивные процессы (например, бури), обеспечивает максимальное использование энергии.

В системе обеспечения жизни человека ветры выполняют важные функции. Они регулируют климат, участвуют в круговороте воды, приносящем нам живительную дождевую влагу, понижают уровень концентрации вредных примесей в атмосфере, приводят в действие ветряные двигатели, разрушают бесплодные горы, содействуют восстановлению плодородия почв и являются источником вечного движения волн океанских течений. Без поддержания «погодной системы» жизнь на Земле, по крайней мере в ее нынешней форме, не могла бы существовать. Люди нередко рассуждают о возможности иных путей использования энергии этой системы, забывая, что она уже и сейчас полностью определяет наше существование.

Океанские течения

Океаны — один из основных компонентов энергетической системы, поддерживающей жизнь на Земле. Колоссальные массы воды на нашей планете находятся в непрерывном движении. Их круговороты в каждом отдельно взятом океане во многом схожи. На рис. 57а приведена упрощенная схема течений Атлантического океана, в котором рожденная схема течений Атлантического океана, в котором вода движется по направлению к полюсу с левой и возвращается к тропикам с правой стороны. В основном океанские течения порождаются ветрами, гонящими большие массы воды. Ветры гонят морские волны и оказывают давление на поверхность морей и океанов таким образом, что водные массы начинают двигаться в одном направлении.

Другой источник энергии, приводящий в движение воды океана, — это разность ее температуры. Тропические моря, круглый год получающие большое количество солнечной энергии, нагреваются. Течения переносят теплую воду к полюсам, где они сталкиваются с намного более холодными водами, воздушными массами и суши. Разность температур вызывает дополнительные перемещения воды: слой плотной холодной воды движется под слоем теплой воды. Следует заметить, что холодные полярные течения движутся в направлении против часовой стрелки.

На рис. 57б представлена энергетическая диаграмма океана, в котором энергия ветра вызывает перемещение воды по огромному кругу. Вначале тропическое солнце на-

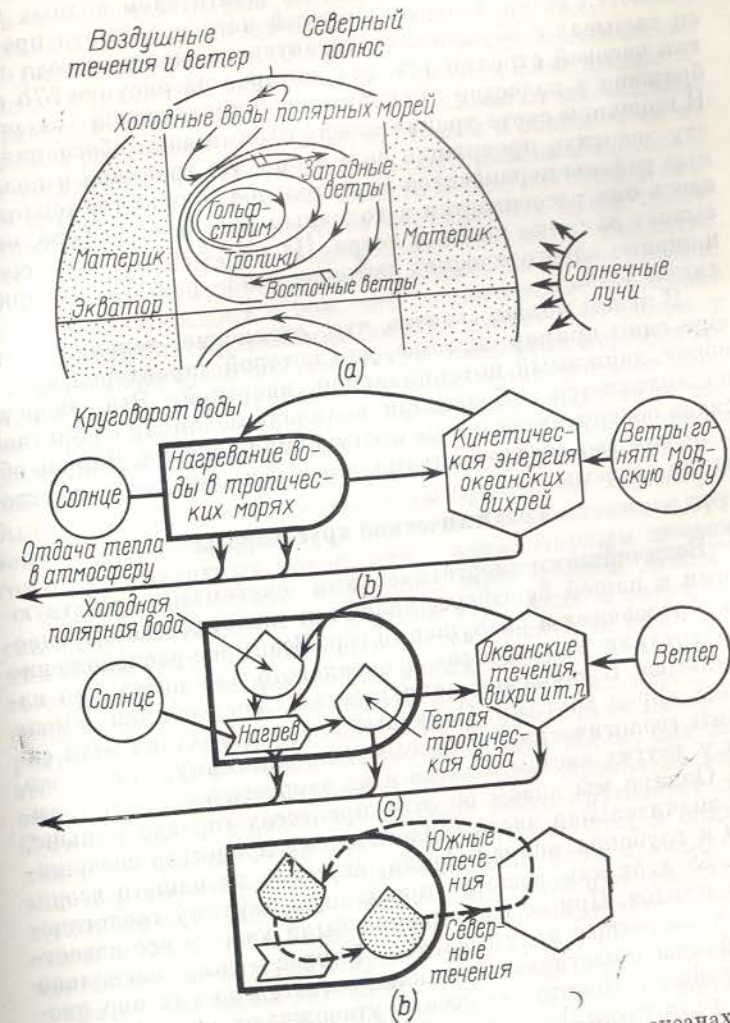


Рис. 57. Упрощенная схема круговорота воды в океанах:
 а) Течения и ветры в Атлантическом океане. б) Упрощенная схема энергетических потоков. в) Энергетические потоки в океанских течениях.
 д) Круговорот морской воды.

шие по масштабу, но интенсивные процессы (например, бури), обеспечивает максимальное использование энергии.

В системе обеспечения жизни человека ветры выполняют важные функции. Они регулируют климат, участвуют в круговороте воды, приносящем нам живительную дождевую влагу, понижают уровень концентрации вредных примесей в атмосфере, приводят в действие ветряные двигатели, разрушают бесплодные горы, содействуют восстановлению плодородия почв и являются источником вечного движения волн океанских течений. Без поддержания «погодной системы» жизнь на Земле, по крайней мере в ее нынешней форме, не могла бы существовать. Люди нередко рассуждают о возможности иных путей использования энергии этой системы, забывая, что она уже и сейчас полностью определяет наше существование.

Океанские течения

Океаны — один из основных компонентов энергетической системы, поддерживающей жизнь на Земле. Колоссальные массы воды на нашей планете находятся в непрерывном движении. Их круговороты в каждом отдельно взятом океане во многом схожи. На рис. 57а приведена упрощенная схема течений Атлантического океана, в котором вода движется по направлению к полюсу с левой и возвращается к тропикам с правой стороны. В основном океанские течения порождаются ветрами, гонящими большие массы воды. Ветры гонят морские волны и оказывают давление на поверхность морей и океанов таким образом, что водные массы начинают двигаться в одном направлении.

Другой источник энергии, приводящий в движение воды океана, — это разность ее температуры. Тропические моря, круглый год получающие большое количество солнечной энергии, нагреваются. Течения переносят теплую воду к полюсам, где они сталкиваются с намного более холодной водой, воздушными массами и сушей. Разность температур вызывает дополнительные перемещения воды: слой плотной холодной воды движется под слоем теплой воды. Следует заметить, что холодные полярные течения движутся в направлении против часовой стрелки.

На рис. 57б представлена энергетическая диаграмма океана, в котором энергия ветра вызывает перемещение воды по огромному кругу. Вначале тропическое солнце на-

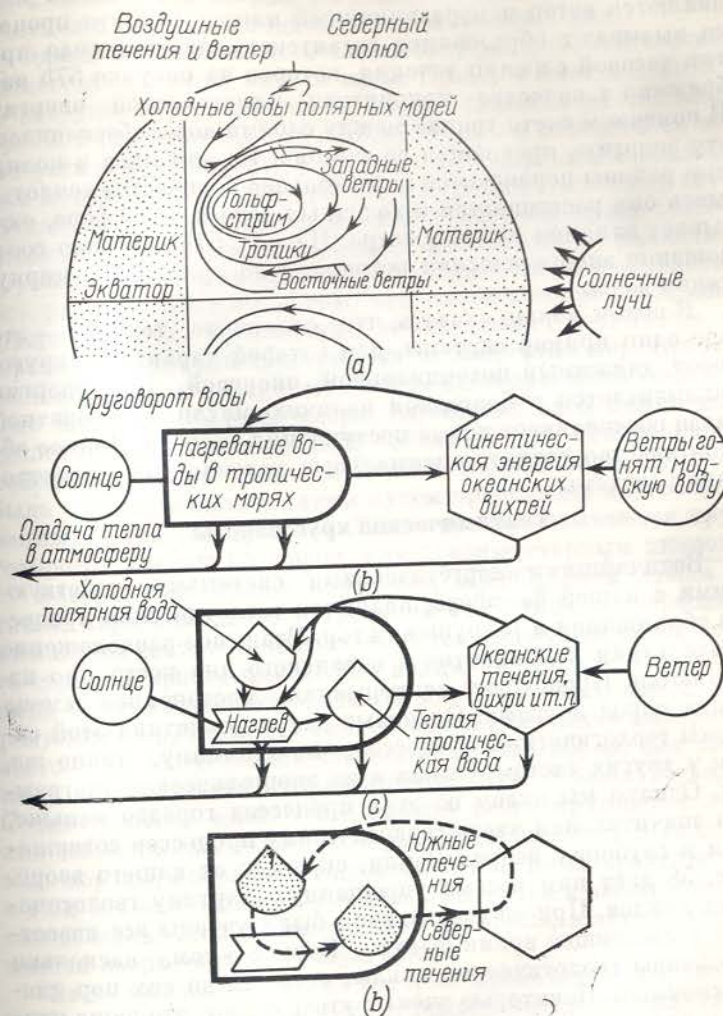


Рис. 57. Упрощенная схема круговорота воды в океанах:
 а) Течения и ветры в Атлантическом океане. б) Упрощенная схема энергетических потоков. в) Энергетические потоки в океанских течениях.
 д) Круговорот морской воды.

гревает ее, а затем она взаимодействует с холодной водой полярных морей и охлаждается. Двигателем водных масс являются ветер и неравномерный нагрев. Оба эти процесса вызывают образование гигантского, движущегося против часовой стрелки течения, которое на рисунке 57b изображено в качестве накопителя кинетической энергии. В конечном счете трение между слоями воды обесценивает эту энергию, превращая ее в тепло. Из тропиков в полярные районы переносится значительное количество теплоты; здесь она рассеивается в холодной воде и атмосфере, оказывает влияние на силу ветра. На рис. 57b показано соотношение энергетических потоков, а на рис. 57c — циркуляция воды.

В целом можно сказать, что океанские течения — это еще один пример системы, для которой характерен круговорот, движимый потенциальной энергией. Эта энергия накапливается и благодаря наличию механизма обратной связи обеспечивает новые поступления энергии. Данное обстоятельство создает оптимальные условия для существования системы.

Геохимические круговороты

Величайшими энергетическими системами, действующими в нашей биосфере, являются геологические процессы образования и разрушения гор. Взаимное расположение и очертания континентов и океанского дна постоянно изменяются. Происходит непрерывная, постепенная замена одних пород другими. Основные характеристики этой системы геологических процессов, по-видимому, такие же, как у других систем. Схожи и их энергетические диаграммы. Однако мы знаем об этих процессах гораздо меньше, ибо значительная часть геологических процессов совершается в глубоких недрах Земли, скрытых от нашего взора. Рис. 58 дает нам весьма упрощенную картину геологических циклов. При ее составлении были учтены все известные в настоящее время факты. Вопрос о том, насколько устойчивы геологические циклы, остается до сих пор дискуссионным. Некоторые ученые утверждают, что наша планета, если рассматривать ход ее процессов на протяжении миллионов лет, находится в устойчивом состоянии, другие же считают, что общий ход геологических процессов подвержен постоянным крупным изменениям. Поэтому в них отсутствует какая-либо повторяемость. Мы также не в со-

стоянии сказать, насколько устойчивы геохимические циклы, в связи с чем на рис. 58 они показаны в полном соответствии с нашими сегодняшними знаниями о них.

Одним из главных источников энергии в геологических процессах являются потоки воды. Дождь и снег постепенно разрушают геологические породы, смывают их частицы в реки, а реки выносят их в море, где они и осаждаются на дне устьев рек и прибрежных вод. Под давлением осадочных пород суша опускается. Вместе с тем, поскольку осадочные породы вымываются из континентов, суша становится легче и поднимается вверх. Это похоже на разжатие пружин матраца при вставании сидящего на нем человека. Все различие состоит в том, что геологические процессы совершаются на протяжении многих тысяч лет. Когда у берегов океана суша под давлением осадочных пород опускается вниз, а в центре материков, освободившись от лишнего веса, поднимается вверх, глубинные слои Земли выдавливаются от прибрежных областей к центральным районам материка, заменяя ту часть земной коры, которая была унесена в океан. Таким путем происходит круговорот земных пород (см. рис. 58). Такие циклы называются круговоротом осадочных пород, или седиментарным циклом.

Разрушение горных пород под воздействием дождя и снега, неравномерного нагревания от Солнца и разрыхления почвы растительностью является движущей силой всего седиментарного цикла. Мы видим на рис. 58, что материк вздымается над основной массой горных пород, образующих «фундамент» земной коры. Поскольку материк состоит из более легких (менее плотных) пород, они плавают на поверхности горных пород, как пробка на воде. Седиментарный цикл — это прежде всего круговорот легких материковых пород, которые превращаются в осадочные породы, и обратно. Гидрологический цикл проявляется в том, что вода вымывает землю с материка в океан, откуда она возвращается в нижние слои материка, а затем поднимается вверх, образуя новую сушу.

За те миллионы лет, за которые происходит образование суши из осадочных пород, подвергающихся сжатию и уходящих под материк, слои рыхлых речных отложений превращаются в твердые горные породы. В процессы горообразования вносит свой вклад и тепловая энергия. Температура ядра земного шара велика: с каждым километром в глубь Земли температура возрастает примерно на 13°C.

гревает ее, а затем она взаимодействует с холодной водой полярных морей и охлаждается. Двигателем водных масс являются ветер и неравномерный нагрев. Оба эти процесса вызывают образование гигантского, движущегося против часовой стрелки течения, которое на рисунке 57b изображено в качестве накопителя кинетической энергии. В конечном счете трение между слоями воды обесценивает эту энергию, превращая ее в тепло. Из тропиков в полярные районы переносится значительное количество теплоты; здесь она рассеивается в холодной воде и атмосфере, оказывает влияние на силу ветра. На рис. 57b показано соотношение энергетических потоков, а на рис. 57с — циркуляция воды.

В целом можно сказать, что океанские течения — это еще один пример системы, для которой характерен круговорот, движимый потенциальной энергией. Эта энергия накапливается и благодаря наличию механизма обратной связи обеспечивает новые поступления энергии. Данное обстоятельство создает оптимальные условия для существования системы.

Геохимические круговороты

Величайшими энергетическими системами, действующими в нашей биосфере, являются геологические процессы образования и разрушения гор. Взаимное расположение и очертания континентов и океанского дна постоянно изменяются. Происходит непрерывная, постепенная замена одних пород другими. Основные характеристики этой системы геологических процессов, по-видимому, такие же, как у других систем. Схожи и их энергетические диаграммы. Однако мы знаем об этих процессах гораздо меньше, ибо значительная часть геологических процессов совершается в глубоких недрах Земли, скрытых от нашего взора. Рис. 58 дает нам весьма упрощенную картину геологических циклов. При ее составлении были учтены все известные в настоящее время факты. Вопрос о том, насколько устойчивы геологические циклы, остается до сих пор дискуссионным. Некоторые ученые утверждают, что наша планета, если рассматривать ход ее процессов на протяжении миллионов лет, находится в устойчивом состоянии, другие же считают, что общий ход геологических процессов подвержен постоянным крупным изменениям. Поэтому в них отсутствует какая-либо повторяемость. Мы также не в со-

стоянии сказать, насколько устойчивы геохимические циклы, в связи с чем на рис. 58 они показаны в полном соответствии с нашими сегодняшними знаниями о них.

Одним из главных источников энергии в геологических процессах являются потоки воды. Дождь и снег постепенно разрушают геологические породы, смывают их частицы в реки, а реки выносят их в море, где они и осаждаются на дне устьев рек и прибрежных вод. Под давлением осадочных пород суша опускается. Вместе с тем, поскольку осадочные породы вымываются из континентов, суша становится легче и поднимается вверх. Это похоже на разжатие пружин матраца при вставании сидящего на нем человека. Все различие состоит в том, что геологические процессы совершаются на протяжении многих тысяч лет. Когда у берегов океана суша под давлением осадочных пород опускается вниз, а в центре материков, освободившись от лишнего веса, поднимается вверх, глубинные слои Земли выдавливаются от прибрежных областей к центральным районам материка, заменяя ту часть земной коры, которая была унесена в океан. Таким путем происходит круговорот земных пород (см. рис. 58). Такие циклы называются круговоротом осадочных пород, или седиментарным циклом.

Разрушение горных пород под воздействием дождя и снега, неравномерного нагревания от Солнца и разрыхления почвы растительностью является движущей силой всего седиментарного цикла. Мы видим на рис. 58, что материк вздымаются над основной массой горных пород, образующих «фундамент» земной коры. Поскольку материк состоит из более легких (менее плотных) пород, они плавают на поверхности горных пород, как пробка на воде. Седиментарный цикл — это прежде всего круговорот легких материковых пород, которые превращаются в осадочные породы, и обратно. Гидрологический цикл проявляется в том, что вода вымывает землю с материка в океан, оттуда она возвращается в нижние слои материка, а затем поднимается вверх, образуя новую сушу.

За те миллионы лет, за которые происходит образование суши из осадочных пород, подвергающихся сжатию и уходящих под материк, слои рыхлых речных отложений превращаются в твердые горные породы. В процессы горообразования вносит свой вклад и тепловая энергия. Температура ядра земного шара велика: с каждым километром в глубь Земли температура возрастает примерно на 13°C.

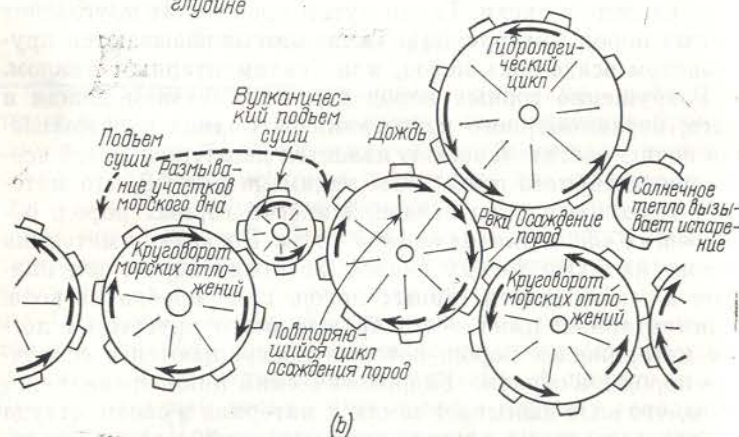
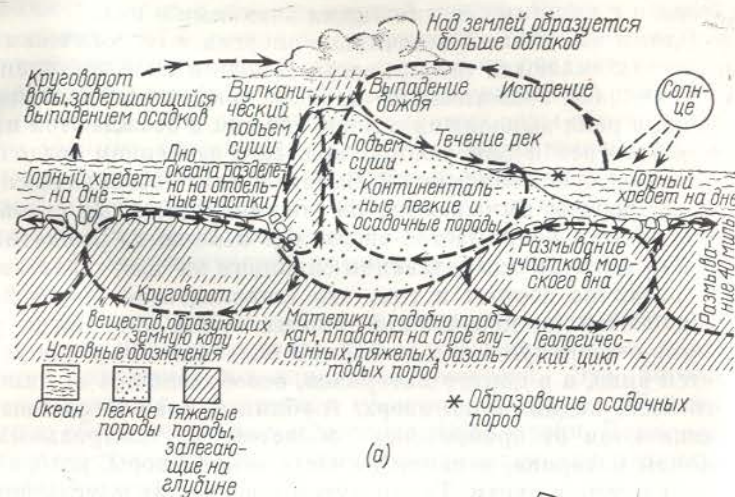


Рис. 58.

а) Упрощенная схема геологических циклов, включающая циклы океанского дна, периодический осадочный цикл (создание горных пород, горообразование, вулканические процессы горообразования) и гидрологические циклы, способствующие действию всей системы. б) Аналогия между геологическими циклами и соединением зубчатых колес. Все колеса связаны между собой и приводят в действие одно другое.

Эта тепловая энергия поступает из нескольких источников, обеспечивающих ход геохимических круговоротов. Одна часть тепловой энергии, возможно, сохранилась еще с момента образования планеты Земля (миллионы лет назад), когда она представляла собой огромный раскаленный шар. Другая — высвобождается в термоядерных процессах: во всех горных породах содержатся ничтожные количества таких радиоактивных веществ, как уран и торий, а в них при осуществлении реакции самопроизвольного атомного распада выделяется теплота, постепенно накапливающаяся в недрах Земли. В осадочном цикле в целом участвует довольно большое количество радиоактивных элементов. Кроме того, всякий раз, как перемещения земной коры приводят к сжатию горных пород, их температура также возрастает. Напомним, что температура — это мера концентрации молекулярного движения. Поэтому при сжатии вещества, когда концентрация молекулярного движения возрастает, вещество нагревается.

В речных отложениях, лежащих под другими породами, содержатся органические и химические вещества, в частности кислород, которые могут вступать в химические реакции при наличии необходимой температуры. Эти вещества содержат потенциальную химическую энергию, которая может накапливаться в земных недрах на протяжении миллионов лет, прежде чем создадутся условия, благоприятствующие началу химической реакции. Если давление и температура резко увеличатся, что характерно для зон, где происходит сжатие горных пород, потенциальная химическая энергия может начать высвобождаться, что связано с выделением тепла и другими процессами.

Как показано на рис. 58 и 59, с постепенным разрушением материковых пород связаны циклы перемещения вещества на дне океанов. Подобно шестеренкам в зубчатой передаче, эти циклы движутся в противоположных направлениях. На дне океана огромные по своей массе горные породы перемещаются в сторону, от кромок подводных горных хребтов. Освободившись от их веса, вверх поднимаются другие породы, в результате высота подводных горных хребтов восстанавливается. Вблизи океанских берегов вымываемая часть морского дна уходит под континентальные платформы, и иногда очень далеко. Нередко их давление и внутренние процессы приводят к таким явлениям, как извержение вулканов и землетрясения. Некоторые

ученые считают, что это давление объясняет движение части поверхности морского дна от берегов океана к центру, однако это утверждение еще не доказано.

Там, где давление в земных слоях направлено вверх, происходит горообразование. Порой горы возникают в результате вулканических извержений, при которых выбра-

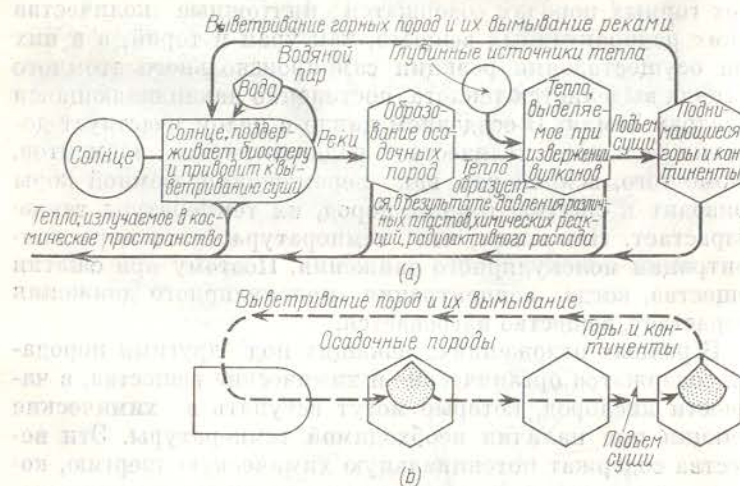


Рис. 59. Потоки энергии и вещества на земле.
а) Упрощенная общая картина. б) Круговорот геохимических веществ.

сывается огромное количество лавы — расплавленных горных пород. Однако в большинстве случаев горы образовались в результате сжатия земной коры, которое как бы собрало в складки мощную толщу осадочных пород¹.

¹ Горные породы осадочного происхождения образуются при сжатии осадочных пород. Наиболее распространенные из них — сланцы, известняки и песчаники. Когда температура достаточно высока, осадочные горные породы превращаются в метаморфические породы. Мягкая сланцевая глина может превратиться в твердый сланец, известняк — в мрамор, а песчаник — в кварцит. Если температура и давление очень велики, все горные породы расплавляются и в результате возникают вулканические породы. Наиболее распространенная вулканическая порода, которая изливается на поверхность Земли из жерл вулканов, черный базальт. Другой, не менее распространенной вулканической породой, формирующейся при медленном ходе процесса горообразования, является гранит — слегка окрашенный, очень твердый камень, содержащий крупные минеральные кристаллы, в составе которых много кварца.

На рис. 58 изображена общая картина противоположно направленных геологических циклов. На рис. 59 раскрыты отношения между всеми потоками энергии (известными и предполагаемыми), которые присущи геологической системе. Энергия Солнца способствует появлению на суше растительности, которая усваивает осадки и разрушает горные породы, образуя почву. Почва вымывается в море и, оседая у его берегов, образует осадочные породы, которые в процессе своего преобразования в горные породы выделяют тепловую энергию. Происходят процессы горообразования, возникновения новой суши, благодаря чему цикл геологического круговорота завершается.

Вулканы

Нам необходимо хотя бы в общих чертах описать те химические процессы, которые происходят в вулканах, потому что их деятельность имеет непосредственное отношение к проблеме загрязнения атмосферы. Деятельность вулканов — составная часть геологического цикла горообразования; как видно из рис. 58, она один из этапов превращения осадочных пород в горные. Тепловая энергия способствует разделению химических веществ. Когда расплавленная лава, в состав которой входят газы и водяные пары, находящиеся под большим давлением, достигает поверхности Земли, ее газообразные компоненты (пары воды и газообразные химические вещества) выбрасываются в атмосферу. Остальная лава растекается по поверхности Земли и по дну моря. Твердая часть лавы богата теми химическими элементами, которые называются щелочными, а газообразные вещества, поступающие в атмосферу, иногда называют кислотосодержащими элементами. На рис. 60 изображено извержение вулкана, в том числе выбросы кислотосодержащих газов и щелочных твердых веществ. В составе последних содержится кремний, являющийся главным химическим ингредиентом большинства горных пород, почв, осадочных пород и морского песка.

После охлаждения кислотосодержащие газообразные вещества могут вступать в химические реакции с холодными горными породами. Они «помогают» солнечному свету и растительности разрушать горные породы и превращать их в почву. Побочными продуктами этих реакций являются основные химические вещества (соли), содержащиеся в

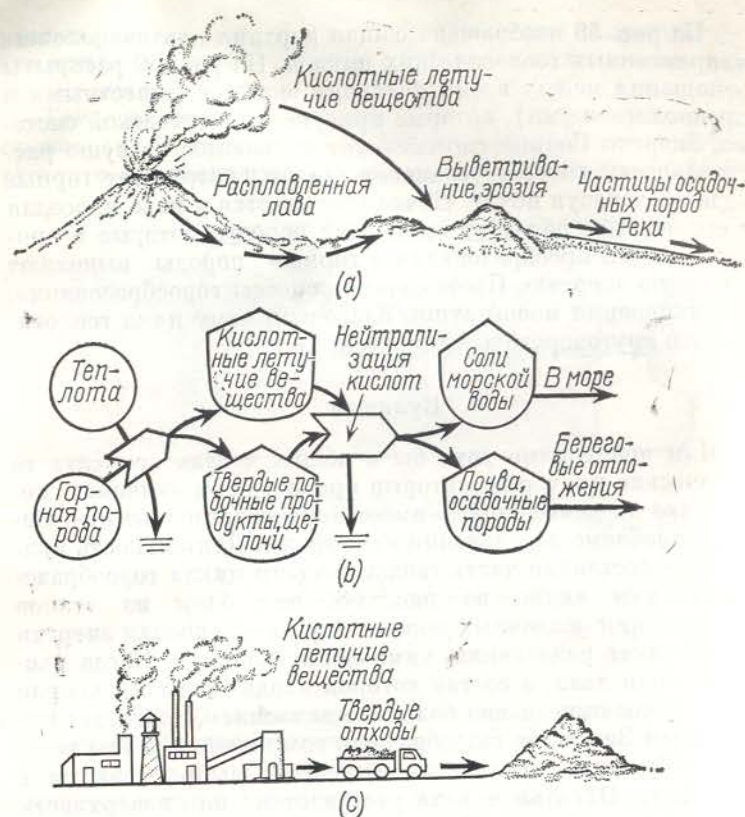


Рис. 60. И вулканы, и города выбрасывают кислотосодержащие газообразные вещества и твердые побочные продукты. В дальнейшем, в ходе атмосферной эрозии, кислотосодержащие вещества нейтрализуются, вступая в реакцию с щелочными твердыми побочными веществами. Метеорологические процессы приводят к формированию береговых отложений и повышению процента солей, содержащихся в морской воде.

а) Вулкан. б) Разложение кислотосодержащих выбросов. в) Промышленное предприятие.

морской воде; в море их приносят реки. Таким образом, вулканические извержения поддерживают определенный химический состав морской воды.

Интересно, что по своим последствиям деятельность вулканов сходна с воздействием, которое оказывает на

природу промышленная цивилизация. Подобно вулканам, промышленные предприятия выбрасывают в атмосферу кислотосодержащие газообразные вещества и в биосферу твердые отходы производства. Таким образом, загрязнение воздуха в городах в известном смысле аналогично загрязнению атмосферы при вулканических извержениях. Концентрированные выбросы кислотосодержащих газообразных веществ, созданных в промышленности, оказывают пагубное воздействие не только на мрамор скульптур, находящихся под открытым небом, но и на легкие человека, а также листву растений. Точно так же вулканы оказывают вредное воздействие на все живое, находящееся рядом с ними. Однако биосфера благодаря наличию воздушных потоков успешно поглощает вредные газообразные вещества, извергаемые вулканами. Точно так же она успешно нейтрализует и выбросы промышленных предприятий, но, разумеется, лишь до тех пор, пока они не превышают определенный максимум. Рассматривая эту проблему в целом, можно сказать, что человеческая цивилизация ускоряет геологические циклы. Деятельность человека может способствовать максимизации энергетических потоков на Земле.

Ресурсы полезных ископаемых

В ходе геологических процессов в недрах Земли образуются залежи железной руды, меди, урана, угля, известняка и прочих веществ, необходимых для производственной деятельности человека. Таким образом, энергетические потоки, участвующие в геохимических циклах, создают во многих местах земной коры богатые и разнообразные запасы полезных ископаемых.

Человек использует продукты геохимических круговоротов. Промышленная революция базировалась на использовании природных ресурсов, созданных в гигантских геохимических процессах горообразования, выветривания и перемещения горных пород. Концентрация веществ, особенно ценных для развития человеческой цивилизации, происходила в ходе гигантских по своим масштабам, но весьма медленно происходящих круговоротов почвы, осадочных и горных пород (см. рис. 58). Солнце — источник круговорота воды. Вначале испаряясь, она затем выпадает на землю в виде дождевых осадков, разрушающих почву. Реки оставляют отложения по своим берегам, а со временем из

этих отложений образуются новые горы. Подобно всем циклам, которые мы уже рассматривали, при круговороте земных пород создаются хранилища энергии. Люди открыли эти хранилища — залежи нефти, железной руды, каменного угля, фосфатов и т. п. — и стали их использовать в своей деятельности.

Все месторождения полезных ископаемых являются хранилищами энергии высокого качества. Разумеется, месторождения нефти или угля мы рассматриваем как источники энергии, но иногда забываем, что запасы и других полезных ископаемых также являются источниками энергии. Залежи фосфатов, например, концентрируют в себе энергию; разработка этих залежей и производство сельскохозяйственных удобрений позволяют нам не затрачивать энергию из других источников.

Начавшийся в прошлом столетии фантастический рост промышленного производства, повышения урожайности полей и увеличения численности населения явился косвенным результатом широкой разработки рудных месторождений и эксплуатации энергетических источников Земли. Запасы энергии, накопленные в ходе медленно протекающих, но гигантских по своим масштабам геологических процессов, были втянуты в гораздо более интенсивно совершающиеся процессы производства и потребления, созданные новой промышленной цивилизацией. При этом человек расходовал ресурсы, накопленные природой за много миллионов лет. Он беспечно эксплуатировал природные ресурсы, не задумываясь над тем, сколько времени их создавала природа. Все знают, что рано или поздно этому должен прийти конец: легкодоступные крупные месторождения минерального топлива и другие природные ресурсы начинают истощаться. Извлекая энергию из энергии геохимических круговоротов и вводя ее в состав новых циклов, связанных со своей деятельностью, человечество обеспечило себе временный источник быстрого роста. Однако нельзя рассчитывать на то, что этот рост будет продолжаться длительное время. Извлекая минеральные вещества из Земли, люди направили их потоки в города. Но в настоящее время мы расходует эти минеральные вещества гораздо быстрее, чем их регенерирует Земля.

В какой мере ресурсы Земли возобновимы? Сейчас богатые месторождения полезных ископаемых, расположенные недалеко от поверхности Земли, уже близки к ис-

тощению. В главах 1 и 4 мы показали, что уровень жизни и уровень инфляции зависят от наличия богатых природных ресурсов. Основные виды минерального топлива — уголь и нефть, фосфаты, используемые для удобрения, железная и медная руда, необходимые промышленности, а также уран — формируются в ходе длительных геологических процессов. С геологическими круговоротами и сейчас связаны как концентрация полезных ископаемых, так и выброс их при извержении вулканов на поверхность Земли. Но эти процессы идут крайне медленно. Мы эксплуатируем нефтяные месторождения гораздо быстрее, чем совершается в глубинных отложениях под воздействием высокого давления и тепла новообразование нефти. В теоретическом смысле запасы полезных ископаемых возобновляемы, поскольку их концентрация идет непрерывно. Но на практике мы считаем эти ресурсы невозобновимыми, так как их концентрация происходит чересчур медленно, чтобы можно было поддержать нынешние темпы потребления.

В последующих главах мы увидим, какими могут стать жизнь человека и экономика в условиях, когда большинство крупных месторождений полезных ископаемых будет уже истощено.

Часть вторая

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

Окидывая мысленным взглядом просторы Земли, ее историческое прошлое, мы должны заключить, что люди чрезвычайно гибко приспосабливались к почти бесконечному разнообразию энергетических потоков и экологических систем. Благодаря тому что люди выработали социальные механизмы, позволявшие им эффективно изменять образ жизни социальных групп, стало возможным существование цивилизаций в различных регионах планеты. Они возникли благодаря использованию человеком комбинаций различных видов энергии, получаемой в процессе фотосинтеза в экологических системах морей, озер, лугов и лесов. В первой части книги мы рассмотрели фундаментальные законы энергии, способы порождения и поддержания энергетическими потоками определенного уровня в организации экосистем, общую структуру производства и потребления, обеспечивающих организацию экосистем. Те свидетельства, которые мы имеем о жизни первых людей на Земле, показывают, что вначале люди были одним из элементов экологических систем; постепенно они стали играть в них более важную роль. Универсальность человека стала средством реализации законов энергии.

Человеческая культура явилась составной частью и регулирующим фактором деятельности Земли, жизнедеятельности растений и осуществления круговоротов тех или иных веществ. Воздействуя на процессы, связанные с осуществлением геохимических и гидрологических круговоротов, люди стали активными соучастниками жизни природы. С течением времени они начали играть еще более

активную роль, регулируя функционирование экологических систем, но оставаясь зависимыми от экосистем, обуславливающих их существование. По мере того как человеческая деятельность становилась все более и более энергетически мощной, она в большей степени могла либо способствовать развитию взаимосвязей между человеком и природой, либо разрушать основу своего существования. Поскольку человечество и человеческая культура — часть природы и поэтому подчинены одним и тем же энергетическим законам, само существование человека зависит от состояния и динамики энергетических потоков. Во второй части книги мы рассмотрим энергетический базис взаимоотношения человечества и окружающей его среды.

«Несущие мощности системы» — термин, обычно используемый натуралистами. Популяция животных (например, оленей или куропаток) поддерживает в устойчивом состоянии пищевые цепи экосистемы и тем самым равновесие внутри определенного ареала. В конкретных наземных или водных ареалах общее количество поступающей за все сезоны энергии солнца, дождя, ветра и т. д. сохраняется из года в год, образуя энергетический базис, необходимый для обеспечения пищевых цепей. В те эпохи, когда жизнь человека полностью зависела от продуктивности природных экосистем суши и водоемов, существование человека в определенных ареалах зависело тем самым от энергии, заключенной в продуктах питания, полученных в этих ареалах. Подобно тому как живые организмы поддерживают равновесие в природе, человек поддерживает равновесие в данных ареалах до тех пор, пока источники энергии, обеспечивающей его существование, сосредоточены в данном ареале. Образ жизни людей, характерный для данных ареалов, также зависит от энергетических потоков. Если люди используют большую часть пищевых цепей данного ареала, то популяции человека здесь растут. Последнее означает, что увеличилось плодородие почвы и возможности поддержания человеческого существования расширились. Если при этом существует поступление дополнительной энергии из внешних источников, например при импорте минерального топлива, то продуктивность данных ареалов увеличивается до тех пор, пока использование новых источников не станет помехой эксплуатации старых. Так, использование солнечной энергии уменьшается, если часть земли отводится под ав-

томобильные стоянки. Во второй части книги мы проанализируем различные типы обществ и механизмы саморегуляции в социальных системах.

В XX в. почти повсеместно наблюдается бурный рост городов; в этом нашла свое выражение промышленная революция, начавшаяся в XIX в. Значительная часть энергии, потребляемой современными городами, — это энергия угля и нефтепродуктов. Запасы угля и нефти, образовавшиеся из остатков растений, т. е. из продуктов фотосинтеза, проходившего в далекие от нас времена, и не использованные консументами того времени, иногда называют запасами горючих ископаемых. Использование горючих ископаемых началось сравнительно недавно. Прежде чем приступить к анализу энергетического базиса жизни современного человека, следует рассмотреть энергетический базис человеческой жизни в те более ранние периоды истории, когда ископаемое топливо использовалось еще крайне незначительно.

Гл. 9 посвящена формам жизни первобытного человека, которые основаны на использовании солнечной энергии. В главе 10 анализируется быстрый рост городов, происшедший в последние десятилетия и связанный с использованием энергии минерального топлива. В гл. 11 раскрыты количественные и практические аспекты использования источников энергии, которые поддерживают в настоящее время или будут поддерживать жизнедеятельность человечества. В гл. 12 энергетический базис жизни современного человека исследуется под углом зрения международных отношений. В ней проанализированы перспективы использования отдельно взятыми странами своих энергетических ресурсов, а также достижений технического прогресса. Наконец, 13-я глава посвящена влиянию энергии на жизнь каждого человека, на обоснованность принятия решений. Во второй части книги, следовательно, анализируется исторический процесс: энергетический базис истории человечества — от первобытных племен, занимавшихся охотой и собирательством, до урбанизированных обществ, для которых характерны быстрые темпы роста, беспокойная жизнь каждого человека, подверженного в наши дни воздействию энергетического кризиса¹.

¹ Само собой разумеется, речь идет о жизни человека в капиталистическом обществе, переживающем экономические, энергетические, экологические кризисы. — *Прим. ред.*

Глава 9

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЗИС ДОИНДУСТРИАЛЬНЫХ ОБЩЕСТВ

В силу того что для различных регионов Земли характерны сезонные изменения и интенсивности солнечного света, и осадков, и численности животных, образ жизни первобытных племен и ранних цивилизаций отличался большим разнообразием. Одни периоды истории развития доиндустриальных обществ отличались длительной стабильностью, другие же были подвержены изменениям. Мы довольно основательно знаем историю человечества за последние 10 тысяч лет или около того, т. е. за тот период, который оставил после себя археологические или письменные свидетельства. Эти свидетельства позволяют выявить истоки нашей истории и культуры и показывают, как использование солнечной энергии, воплощенной в предметах окружающей среды, поддерживало жизнь людей в то время, когда они не располагали такими крупными источниками энергии, какими являются минеральное и ядерное топливо.

Можно задать вопрос: сколько энергии необходимо для поддержания человеческой жизни? Лучше, однако, сформулировать данный вопрос несколько иначе: какова величина энергетического потока, необходимого для поддержания функционирования системы, составной частью которой является человечество? Когда люди, населявшие Землю, приспособились к наличным запасам энергии и условиям окружающей среды, они выработали новые формы жизни в соответствии с новыми условиями. Понятие «культура» часто используется как синоним понятия «образ жизни»,

«язык», «общественные отношения», «формы правления», «религия того или иного народа» и т. д. Энергия, в том числе энергия, необходимая для поддержания определенного уровня культуры, является одним из важных условий человеческого существования.

Энергетические условия жизни людей и развития человеческой культуры

Одним из энергетических условий жизни человека является получение пищи, которая позволяет ему поддерживать нормальное функционирование организма, и использование энергии на создание таких материальных благ, как одежда и жилище. Энергия, потребляемая человеком с пищей и необходимая для поддержания основных функций человеческого организма, составляет около 2500 ккал в день (в форме углеводов и других питательных веществ). Однако для полноценного человеческого существования необходимы большие затраты энергии, в том числе затраты на производство продуктов потребления, на переработку отходов, на торговлю, на создание воздушного и водного транспорта и т. п. В США расход нефтепродуктов, потребляемых двигателями внутреннего сгорания, составляет 250 000 ккал на душу населения в день. Для полного удовлетворения потребностей человека, для поддержания его образа жизни необходимо создать достаточно развитую систему жизнеобеспечения. Для поддержания определенного уровня жизнедеятельности человека необходимы большие затраты энергии. Одна килокалория, содержащаяся в консервированных продуктах питания, купленных человеком в магазине, эквивалентна потреблению около 10 ккал энергии минерального топлива. Следовательно, пища, которую потребляет один человек за один день, эквивалента около 25 000 ккал условного топлива.

Многие потребности человека порождены той системой, в которой он живет. Мы показали в главе 3-й, что функционирование системы в условиях конкуренции приводит к тому, что все потребители энергии должны содействовать процессам ее производства и преобразования. В различных социальных системах существуют различные конкурирующие между собой способы производства энергии. Таким образом, существование человека зависит от того, насколько развит в социальной системе обмен между про-

изведенными им продуктами и продуктами других людей. Все идеи и группы, существующие на том или ином этапе развития общества, конкурируют между собой за господство в социальной системе. А человечество в целом конкурирует с другими биологическими видами.

Рис. 61 раскрывает самые насущные потребности человека. Следует обратить внимание на то, что здесь энергия, используемая человеком, предоставляется в обмен на про-

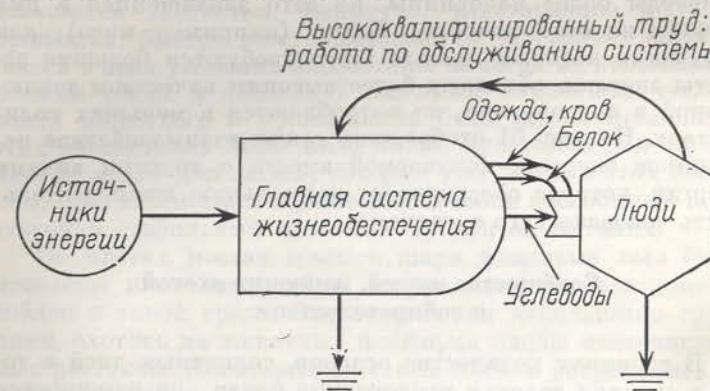


Рис. 61. Энергетические затраты, необходимые для поддержания жизни человека, включают в себя энергию на производство предметов первой необходимости (пищи, одежды и жилья) и энергию, связанную с обменом продуктами труда.

дукты труда высокой квалификации и направляется им вновь в систему, обеспечивающую поддержание его жизнедеятельности. В силу того что вклад человека в экологическую систему, окружающую его, больше его потребления, экологические системы, включающие в себя человека, гораздо успешнее конкурируют с природными экосистемами. Если человечество разрушает источники своей жизни, то может возникнуть такая ситуация, когда оно будет замещено популяциями консументов других видов, возможно водорослями, насекомыми или микроорганизмами, которые могут жить в самых суровых условиях.

Диета человека: углеводы и белки

Проблемы диеты человека ныне широко обсуждаются и в учебниках по биологии, и в телевизионных передачах. Для поддержания здоровья, кроме основных продуктов

питания, человеку необходимы белки, минеральные соли и витамины. Иногда в упрощенных трактовках мировых ресурсов продуктов питания биологические потребности человека сводятся лишь к снабжению его энергией углеводов с добавкой некоторого количества белков и витаминов и других компонентов. Как видно из рис. 61, система полноценного питания человека представляет собой взаимодействие двух потоков энергии, содержащейся в пище. Углеводы более калорийны, но зато заключенная в них энергия низкого качества. Белки (например, мясо), для получения которых прежде всего требуются большие затраты энергии, обладают более высоким качеством заключенной в них энергии, но потребляются в меньших количествах. На рис. 61 изображено также взаимодействие источников энергии, получаемой вместе с другими видами энергии, которое обеспечивает нормальную жизнедеятельность человеческого организма.

Сообщества людей, живущих охотой и собирательством

В тропиках количество осадков, солнечных дней в году и средняя годовая температура почти не изменяются из года в год. Благодаря этому здесь растут густые вечнозеленые тропические леса. Еще до начала нашего столетия в верховьях Амазонки, на Новой Гвинее, в Конго и многих других местах сохранялись густые леса, долгое время существенно не изменявшиеся. В этих лесах росли деревья различных пород и буйная растительность. Эти условия благоприятствовали и жизни разнообразных видов животных, тысячам видов насекомых, хотя каждый вид был представлен в относительно небольших количествах. Такой тип леса называется дождевым лесом; в настоящее время он почти полностью вырублен. Дождевой лес, по нашему мнению, является лучшим примером сложной, саморегулирующейся экологической системы, которая производит в изобилии растительную биомассу, почти полностью потребляемую самыми разнообразными живыми организмами. Многовековые деревья, возраст которых исчисляется от 300 до 1000 лет, поддерживают жизнь деревьев, относящихся к различным ярусам леса. Свет и осадки усваиваются в процессе фотосинтеза, продукты которого используются вновь в основном для поддержания функцио-

нирования той же системы, например для замены погибших деревьев. Минеральные вещества совершают свой круговорот: они поднимаются вместе с водой вверх по сосудам дерева к листьям, а затем возвращаются в почву вместе с опадающей листвой. В результате этих процессов, длившихся сотни лет, в тропических лесах сформировались устойчивые условия, обеспечивающие рост, возобновление и сохранение с небольшими изменениями сложившихся экосистем. Вещества, участвующие в таких процессах, быстро восстанавливаются. Поскольку сложившиеся в этих условиях экосистемы никогда не испытывали резкого роста и поскольку сезонные изменения численности животных и урожайность были незначительными, в этих экосистемах было мало пищи, пригодной для людей. Тем не менее для людей, которые уже жили в этих лесах, подобные экосистемы представляли собой постоянный и достаточно стабильный источник продуктов питания.

Во многих местах земного шара дождевые леса были населены племенами, образ жизни которых был приспособлен к такой среде. Эти люди жили небольшими группами, охотясь на животных и собирая плоды многочисленных растений. Некоторые из таких племен сохранились до нашего времени и тщательно изучаются антропологами. В качестве примеров можно назвать племена пигмеев в верховьях бассейна реки Конго, отдельные племена индейцев, расселившиеся в районе реки Амазонки, некоторые племена в Новой Гвинее, а также первобытные племена, обнаруженные недавно в дождевых лесах на Филиппинах.

Энергетический базис обществ, в которых люди жили охотой и собирательством и средой существования которых был устойчивый дождевой лес, изображен на рис. 62. Этот тип общества можно описать как многоликий консумент, завершающий пищевую цепь, ибо человек здесь порой потребляет в пищу мясо крупных животных. Однако гораздо более регулярно человек этого общества извлекает пищу из нижних ступеней пищевой пирамиды, поедая корни растений, небольших животных и рыб.

Поскольку люди, проживавшие в густых устойчивых лесах, использовали лишь небольшую часть энергии экосистемы, они не представляли для нее чрезмерного бремени и не нарушали ее стабильности. Плотность населения была невысокой: менее трех человек на один квадратный километр. Эти ареалы не были способны обеспечить суще-

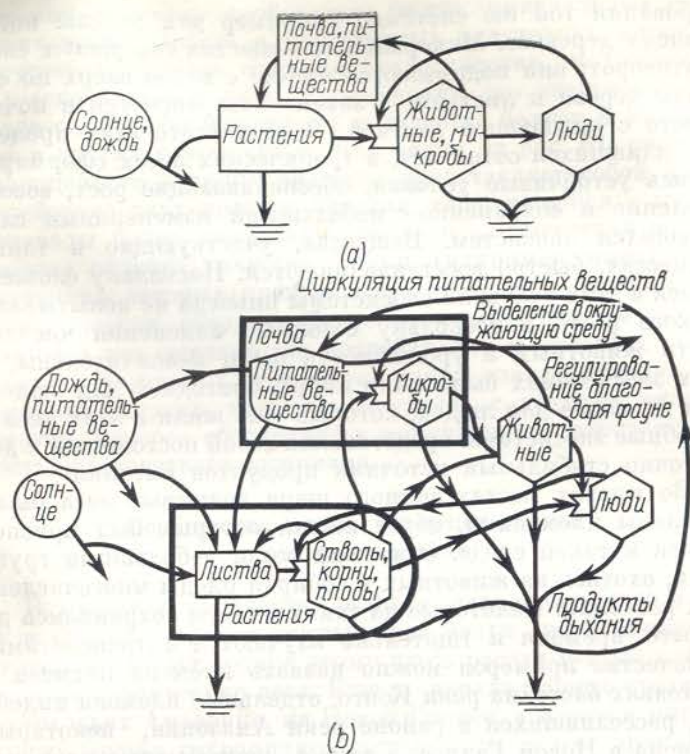


Рис. 62. Энергетический базис общества, в котором люди живут охотой и собирательством.

а) Упрощенная диаграмма. б) Подробная диаграмма.

ствование человека; человеческие сообщества адаптировались к существующим условиям, регулируя рождаемость и избавляясь от болезней, в интересах сохранения невысокой плотности населения. Сложная структура леса обеспечивала людям постепенные устойчивые условия существования до тех пор, пока численность населения была невысокой.

Как видно из рис. 62, процессы саморегуляции и круговорота в лесу осуществляются животными, а не человеком. Роль человека в экосистеме леса с точки зрения количества Калорий, потребляемых им, незначительна. Вследствие того что люди живут малыми группами в лесу,

поглощение их органических отходов не представляет никаких трудностей. Большая часть человеческой энергии в таких социальных системах уходит на добычу пищи и на обеспечение себе крова.

В других климатических поясах рост или уменьшение человеческих популяций зависели от зон ливневых дождей. Однако в стабильной экосистеме тропического леса человеческая популяция была устойчивой в силу того, что количество энергии, производимой экосистемой леса, было относительно постоянной величиной. Следует обратить внимание на плавный характер кривой продуктивности тропического леса (рис. 63а).



Рис. 63. Сравнение сезонных изменений производства и потребления в экосистемах, расположенных в умеренном климате и климате с резко изменяющимися погодными условиями (полярные области; полярные ночи).

В предыдущих главах мы уже говорили о том, что большинство консументов той или иной экосистемы вносят в нее свой вклад, обменивая определенные услуги на пищу. Например, животные вовлечены в круговорот минеральных веществ и оказывают влияние на растительность, воздействуя на структуру посадок, сбор урожая и распределение семян. Сообщества, в которых люди живут охотой и собирательством, вносят свой немаловажный вклад в экосистему, распределяя семена, контролируя рост численности крупных животных, вырубая лес на тех или иных участках, расширяя тем самым возможности для развития растительного мира (на рис. 62 это воздействие изображено линиями обратных связей от человека к растительным и животным видам).

Роль человека особенно велика в тех звеньях потоков энергии, которые завершают цепь ее преобразования. Если человеческая популяция невелика, то общее число Кало-

рий, усваиваемых в организме человека, невелико. Однако даже в тех обществах, где люди занимались исключительно охотой и собирательством, качество человеческого труда достаточно высоко, ибо даже этот труд предполагает наличие у каждого человека развитого интеллекта, некоторой совокупности знаний о свойствах леса и определенных навыков в передаче информации. В гл. 6 мы ввели понятие стоимости энергии для оценки качества энергетических потоков. Энергия, используемая в экосистемах леса для обеспечения энергетического базиса жизнедеятельности человека, достаточно велика. Труд, затрачиваемый человеком на обслуживание и управление системой, также достаточно велик. Такие действия, как охота на крупных и мелких животных, подготовка их мяса к употреблению в качестве пищи, сбор орехов и плодов, оказывали существенное влияние на экосистему тропического леса, регулируя число растительных и животных видов. В каком-то смысле количество энергии на одного человека, используемое для поддержания его жизнедеятельности и частично контролируемое им, было в это время столь же большим, как и в нашем урбанизованном обществе.

В соответствии с описанным в гл. 6 взаимодействием между различными по качеству видами энергии высококачественная энергия (труд человека), выполняя функцию обратной связи и взаимодействуя с солнечной энергией, более низкой по своему качеству, обеспечивает достижение максимальных результатов.

Разнообразие, стабильность и стоимость энергии

В гл. 6 и 7 мы использовали термин «разнообразие» для описания многообразия видов растений и животных в той или иной экосистеме, для характеристики разнородных профессий человека, которые в своей совокупности образуют человеческую культуру. В тех обществах, где люди занимаются охотой и собирательством, разнообразие обеспечивалось самим тропическим лесом, поскольку здесь пищевые цепи связаны с потреблением плодов и корней многообразных видов растений и мяса животных. Для того чтобы человеческая пища была более разнообразной, люди должны были в достаточной степени знать жизнь тех растений и животных, которые входят в систему обеспечения существования человека. Поскольку существует

не один, а множество источников пищевых продуктов, постольку повышалась надежность добывания пищи, которая уже не может быть нарушена гибелью каких-либо растений или животных.

Жизнь людей в экосистеме леса была достаточно прочна именно потому, что в лесу существует большое многообразие растительных и животных видов. Если сезонные изменения климата периодичны, то экосистема может

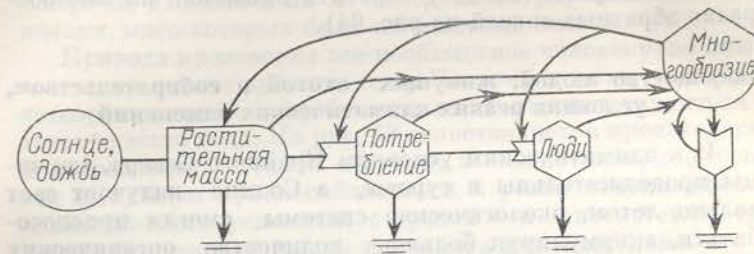


Рис. 64. Энергетический базис и его влияние на повышение уровня разнообразия экосистемы. В обмен на энергию, необходимую для поддержания определенного уровня разнообразия, в экосистеме возникают вторичные потоки энергии, увеличивающие эффективность и стабильность энергетических потоков.

направить всю свою энергию на развитие разнообразия видов растений и животных. Такое разнообразие усложняет пищевые цепи крупных животных, но вместе с тем делает их более устойчивыми по отношению к внезапным изменениям климата.

На диаграммах в гл. 6 и 7 разнообразие видов растений и животных было представлено двумя способами. Первый состоит в описании каждого вида отдельным условным обозначением и в их соединении, характеризующем различные формы взаимодействия видов (например, пищевая цепь). Второй — описание разнообразия одним обобщенным символом, указывающим на количество энергии, накопленное в экосистеме (оба способа показаны на рис. 40). Для поддержания разнообразия экосистемы необходимо затрачивать большое количество энергии. Ведь специфические характеристики организма, делающие возможным разделение труда (например, наличие специальных органов, биохимические свойства, поведение и ряд других признаков, передаваемых генетически), предполагают ее

широкое потребление, с тем чтобы это разнообразие создавалось, поддерживалось на необходимом уровне и передавалось будущим поколениям. Поддержание определенного уровня разнообразия связано с освоением большого объема информации и тем самым с большими затратами энергии (см. рис. 40). Разнообразие и видов живых организмов, и профессий человека предполагает специализацию, что в свою очередь приводит к повышению эффективности переработки энергии (следует обратить внимание на многообразие обратных связей на рис. 64).

Сообщество людей, живущих охотой и собирательством, в условиях резких климатических изменений

И к климатическим условиям Крайнего Севера, где зимы продолжительны и суровы, а Солнце излучает свет только летом, экологические системы смогли приспособиться, аккумулируя большое количество органических веществ. Энергия накапливалась в организме животных, в плодах, в торфе и стволах деревьев. Она накапливалась также в организмах перелетных птиц и различных млекопитающих. Каждой весной с наступлением тепла и возвращением перелетных птиц жизнедеятельность экосистем активизировалась. Разнообразие внутри экосистем как бы испытывало сезонные колебания — виды сменяли друг друга подобно актерам на сцене. Поэтому большая часть энергии экосистемы зависела от времен года, меньшая же ее часть использовалась для поддержания в течение определенного времени соответствующего уровня разнообразия, характерного для экологической системы. В северных реках, к примеру, наблюдается следующая последовательность: быстрый рост водорослей и размножение микробов, затем рост численности водных насекомых и лососей, молодь которых в течение одного сезона пробивается к морю, а затем вновь мигрирует.

Примитивные общества приспособлялись к резким сезонным изменениям климата, вырабатывая специфические образцы поведения, которые характеризовались также резкими сезонными изменениями. Зимой люди отлавливали крупных животных и рыб, которые оставались зимовать либо уходили на юг, к морю, спускались с гор в долины, перекочевывали на места, где зимы были мягче. Летом же они возвращались в родные места. Сообщества

ми, хорошо приспособившимися к северному климату, являются племена индейцев на Аляске, лапландцев, которые приспособились к миграциям лососей и оленей, эскимосов, адаптировавшихся к периодическому замерзанию и таянию северных морей и образованию льдов у берегов, создавая большие запасы мяса тюленей, медведей и рыбы. Дома эскимосы строят изо льда (йглу), а лапландцы — из торфяника. Индейцы, жившие на плоскогорьях Северной Америки, двигались на юг вслед за мигрировавшими буйволами, мясо которых было их основной пищей.

Природа производит все необходимое человеку, но лишь в течение одного времени года. Поэтому в интересах удовлетворения своих потребностей люди должны трудиться в течение всего года. На рис. 63 сопоставляется производство и потребление, с одной стороны, в экосистемах, где человек вынужден приспосабливаться к резко изменяющимся климатическим условиям; с другой — в экосистемах, где изменение условий жизни и климата незначительно.

Сезонные изменения климатических условий характерны и для районов с более умеренным климатом, отличающихся друг от друга, например, уровнем выпадающих осадков за год. В таких районах структура питания меняется вместе с переменой времен года. Австралийские аборигены представляют собой популяцию, которая приспособилась к периодическим сменам засухи обильными дождями в теплой климатической зоне земного шара. Живя в условиях полупустыни и проходя в поисках пищи большие расстояния, аборигены вполне адаптировались к той экосистеме, в которой они могут охотиться и собирать плоды и где ее продуктивность значительна в дождливый сезон и крайне мала в продолжительные периоды засухи.

Земледельческие сообщества, использующие солнечную энергию

В человеческих сообществах, живущих охотой и собирательством, малая по численности популяция обеспечивала регулирование экологической системы. Земледелие позволяло поддерживать существование гораздо большего числа людей. Эта новая форма хозяйства повлекла за собой замену людьми и одомашненными животными других консументов, изменение стихийно сложившейся структуры пищевых цепей и разнообразных консументов. Как было

показано в гл. 6 (см. рис. 37), различные виды энергии, получаемые от одного источника (в данном случае от охоты и сбора плодов), могут быть направлены на эксплуатацию вторичного источника энергии (в данном случае земледелия). Поскольку развитие в этом направлении оказалось успешным, земледелие, бывшее вначале вторичным источником, стало основным; охота и собирательство стали играть гораздо меньшую роль. Захват человеком боль-

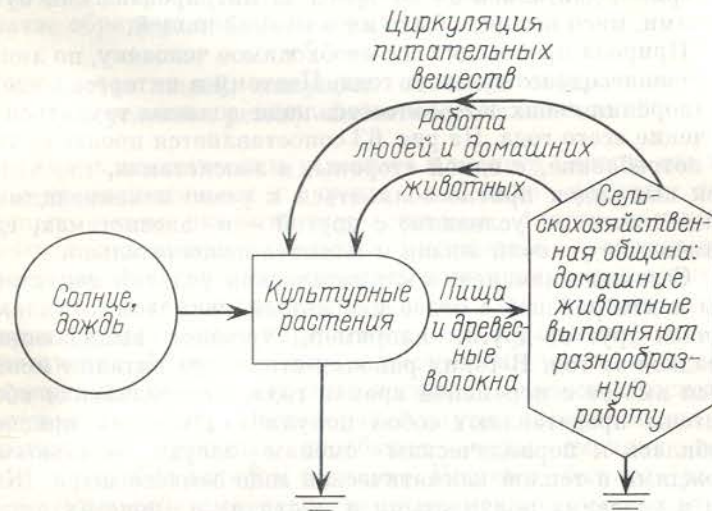


Рис. 65. Человек как продуцент, консумент и посредник в круговоротах геохимических веществ, совершающихся благодаря земледелию, основанному на использовании солнечной энергии.

шинства из звеньев пищевой цепи биосферы способствовал росту численности человеческих сообществ, в результате чего плотность населения возросла до 250 человек на кв. км. Индия, Египет и Панама в доколониальные времена являли собой пример культур, отличающихся высокой плотностью земледельческого населения.

Схематически возрастание роли земледельческих сообществ в потреблении и регуляции продуктивности экосистемы показано на рис. 65. Земледельческие сообщества заменили прежние модели разнообразия, присущие естественным экологическим системам. Вместо разнообразия растительных и животных видов, существовавших в природ-

ных экосистемах, здесь мы имеем разнообразие видов труда внутри небольших поселений (ср. рис. 65 и 62).

Там, где происходит резкая смена климатических условий, естественное чередование времен года способствует уничтожению сорняков и вредных насекомых. В северных климатических поясах зима, прерывая процессы роста, предоставляет людям возможность переработать результаты своего труда и заменить плоды природы плодами своих рук. Аналогичным образом в тропических районах, например в муссонных климатических поясах Азии, где периоды дождей сменяются периодами засухи, люди имеют возможность использовать свой труд и ирригационные сооружения для посева своих культур раньше, чем начнется бурное развитие дикорастущих растений во время периода дождей. Особенно эффективными для земледелия, использующего солнечную энергию, являются дельты больших рек, разливающихся один раз в год, что обеспечивает благоприятные условия для развития сельскохозяйственных культур. Разливы рек несут с собой питательные вещества, воду и почву. Периоды засухливой погоды между периодами дождей помогают контролировать рост дикорастущих растений, чрезмерный рост которых в противном случае существенно затруднял бы развитие культурных растений. Подобные сезонные колебания помогают также регулировать процессы роста популяций насекомых.

Подсечно-переложная система земледелия

Соревнование человека с природными экосистемами не всегда было успешным. В тропических лесах земледельческие общины могли бороться с буйным естественным ростом леса только путем вырубki и выжигания растительности, в первую очередь деревьев. В таких условиях урожай можно было снимать только два или три года, до тех пор пока рост растительности и популяций насекомых на этих угодьях позволял заниматься земледелием. Тогда племя переходило в другой район и вырубало другую делянку леса, что давало возможность в течение короткого периода времени вновь заняться земледелием. Такая подсечно-переложная система земледелия все еще встречается в тех тропических районах, где нет ископаемого топлива и специализированных продуктов урбанизированных ци-

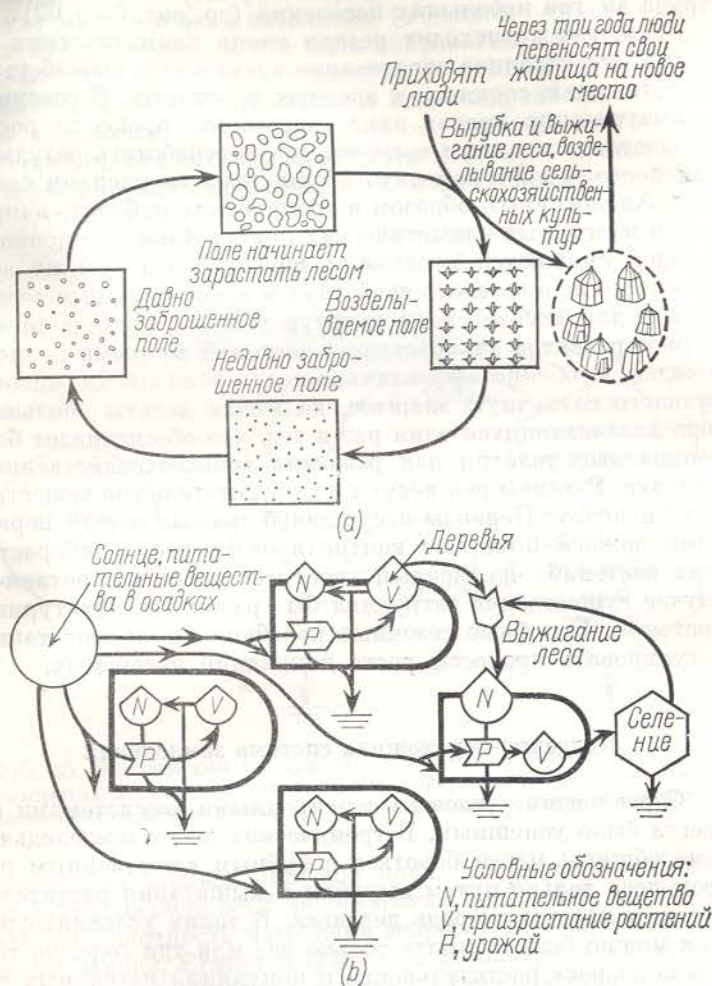


Рис. 66. Энергетический базис подсечно-переложной системы земледелия. Цикл возделывания земель: люди обрабатывают определенный участок земли в течение нескольких лет, а затем уходят на другое место.

а) Схема чередования используемых земельных участков. б) Энергетическая диаграмма.

визаций, необходимых для борьбы с сорняками и вредными насекомыми.

Схема подсечно-переложной системы земледелия представлена рис. 66. При такой системе люди кочуют, переходя с одной территории на другую, поочередно используя энергозапасы каждой из них. Деревня может возвратиться назад, в прежний район своего обитания, через несколько лет, необходимых для восстановления экосистемы. В течение восстановительного периода почвы накапливают питательные вещества; благодаря осадкам и выветриванию пород структура почв становится благоприятной для земледелия. Люди начинают культивировать полезные растения, вытесняющие сорняки и поддерживающие жизнедеятельность тех насекомых, которые отличаются от прежних, вредных для урожая насекомых.

Эту систему земледелия можно сравнить с многоцилиндровым двигателем внутреннего сгорания. В каждом цилиндре после взрыва горючей смеси наступает новый такт, в течение которого происходит сгорание и цилиндр накапливает необходимый для движения запас энергии. Двигатель в целом продолжает работать достаточно плавно потому, что его потребность в энергии удовлетворяется то за счет одного цилиндра, то за счет другого — по мере того, как запас энергии в соответствующем цилиндре иссякает. Деревенская община первобытного племени функционирует подобно этому двигателю, а делянки обрабатываемой ее жителями земли можно уподобить цилиндрам. Деревня существует только потому, что она переходит с одного участка земли на другой, в то время как ранее возделывавшаяся земля восстанавливает свою продуктивность. Хотя на каждом участке через определенное время производится вырубка леса, посев и сбор урожая, можно считать, что ландшафт в целом сохраняет устойчивую структуру, если соотношение количества участков, находящихся на различных стадиях обработки и использования, не изменяется.

Моря, озера и пруды как источники энергии

Люди уже давно стремились освоить запасы энергии, содержащиеся в водах, морях, озерах, ручьях и прудах. Человек доиндустриальной эпохи стремился жить на островах, вблизи устьев рек, по берегам озер и крупных рек, так как он использовал пищевые цепи водных экологиче-

ских систем, а для транспортировки грузов — энергию приливов, ветров и водных течений.

Основной пищей многих американских индейских племен были крабы и устрицы. Водные экосистемы сохраняли устойчивую продуктивность, и человек мог потреблять устрицы в любой сезон — и летом, и зимой. Добыча рыбы

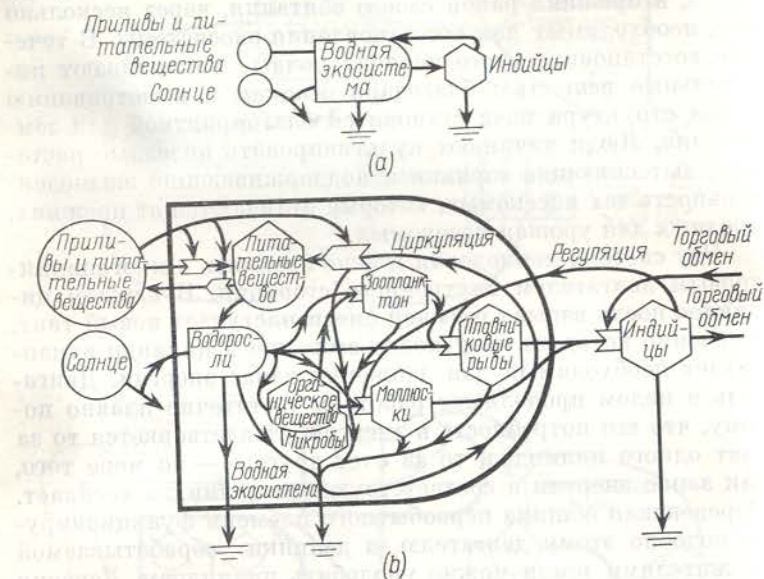


Рис. 67. Энергетические потоки водных экосистем, производящих продукты питания для людей. Термин «регуляция» указывает на то, что рост популяций контролируется.

а) Упрощенная схема. б) Схема с большим количеством деталей.

в запрудах при помощи копы с древних времен была одним из основных занятий во многих племенах. Водные и наземные экосистемы часто накапливали большие запасы питательных веществ к концу летнего сезона; эти запасы затем становятся тем средством, которое обеспечивает все условия для реализации нового весеннего цикла роста и нового цикла воспроизводства животного и растительного мира. Пруды, изобиловавшие рыбой, оказались еще более эффективным средством поддержания жизни человека в качестве источников белков. Экосистемы прудов обогащались теми органическими веществами, которые выноси-

лись осадками с почв, и минеральными веществами, являвшимися отходами жизнедеятельности человека и животных. Рыба, например молодь лосося, вылавливалась либо в районах ее естественного размножения, либо искусственно выращивалась в прудах. На рис. 67 показаны необходимые для обеспечения белкового питания человека энергопотоки, связанные с ловлей им моллюсков и рыб из прудов и из других водных экосистем.

Болезни как регулятор численности населения

В древние времена численность населения росла всюду, где создавались благоприятные условия для увеличения продуктивности природы. Вместе с тем прежде, по-видимому, не было ничего подобного тому продолжительному росту населения, который характерен для нашего времени. Численность населения планеты ранее поддерживалась на значительно меньшем уровне с помощью различных механизмов, выработавшихся в ходе эволюции и являвшихся составной частью процессов приспособления людей к условиям окружающей их среды. Во многих сообществах, имевших длительную историю, численность населения регулировалась различными социальными установлениями, оказывавшими влияние на рождаемость, детскую смертность и борьбу с эпидемиями. Все эти факторы в конечном счете находились в определенном равновесии. До тех пор пока численность населения была относительно небольшой, роль болезней и паразитов, по сути дела, сводилась к испытанию жизнеспособности новорожденных и престарелых. Те люди, чья жизнеспособность оказалась недостаточной, гибли. Болезни были как бы испытанием энергоресурсов и активности организма человека. Они обеспечивали тем самым регулирование качества энергии его организма и численности населения.

Эпидемии не были решающим регулирующим фактором, ибо в то время человеческие популяции были малы и разобщены. Вместе с ростом популяций и недостаточностью продуктов питания болезни стали приобретать характер эпидемий. Люди, страдающие от недоедания, более подвержены болезням. Эпидемии резко уменьшали численность населения. Это заставляло людей либо восстанавливать продуктивность экосистем, либо мигрировать с места на место, с тем чтобы распределение продуктов пи-

тания соответствовало бы наличием энергетическим ресурсам. Эпидемии в определенном смысле являются следствием голода и чрезмерной перенаселенности. Быстрое распространение эпидемических болезней объясняется действием ряда факторов. В частности, здесь следует назвать личные контакты между людьми и заражение водных источников человеческими отходами. По мере роста численности населения оба эти фактора все чаще дают о себе знать. Конечно, для каждого человека болезнь — это несчастье, но в жизни человеческих популяций болезни долгое время играли роль основного регулятора численности населения, приспособления его к существующим ресурсам. Болезни, регулируя численность населения и приводя ее в соответствие с наличием источниками энергии, обеспечивали выживание наиболее жизнеспособных людей.

Война и границы

Войны между отдельными группами людей характеризуют историю человечества. Мы находим войны на ранних стадиях цивилизации, даже у примитивных племен, и, конечно, между современными странами. В последние годы войны стали более разрушительными, применяются большие количества оружия. Теперь мы рассматриваем войны как нечто ужасное, в особенности для тех, кто в них непосредственно участвует. Однако, когда войны требовали меньшего количества энергии, борьба между группами людей играла некую организующую роль при определении территорий, контролируемых определенными группами, и привязке к ним источников энергии. Претензии на любую территорию находились в непосредственной связи с количеством контролируемой энергии.

Когда группы были разбросаны, границы влияния определялись энергией. Во времена, когда большие количества энергии были доступны для непосредственного эффективного использования, группа могла поставить под свой контроль — путем захвата или экономическим путем — большую территорию и сформировать значительные объединения. Когда же энергия истощалась, группы теряли свое влияние, и центры их объединений удалялись друг от друга: становилось меньше поводов для конфликтов. С энергетической точки зрения война — это проверка обоснованности границ влияния и их изменение в соответ-

ствий с наличием энергии у претендентов на влияние. Не следует забывать, однако, что и количество энергии, и группы были относительно малы. Хотя военные действия являлись на ранних ступенях культуры обидным явлением, они не были столь опустошительными, как теперь.

Как бы мы теперь ни относились к войнам и болезням, на ранних доиндустриальных стадиях потребления энергии они были повседневностью. В нашем веке мы прилагаем много усилий, чтобы избежать войн, голода и болезней. Но болезни и малые войны могли бы служить целям приспособления населения к наличным ресурсам, позволяя избежать больших зол: голода и эпидемий. Прimitивные культуры были приспособлены к названным путям регулирования и принимали их; мы, конечно, имеем совершенно отличный взгляд на них в теперешний период роста. После того как в гл. 10 мы рассмотрим современный период, мы вернемся к вопросу долгосрочного регулирования численности населения.

Использование запасов энергии для роста населения

В гл. 5 (см. рис. 28) мы отметили, что большие запасы энергии могут способствовать скачкообразному росту населения. После такого первоначального роста должен последовать спад, установление более низкого уровня активности на основе постоянного притока энергии. В любом случае, когда совершается переход от одного типа энергетических источников к другому, может быть получено добавочное количество энергии за счет остатков в предшествующей системе. Например, охотники и собиратели жили за счет диких животных, количеством которых долгое время регулировалась численность населения. Когда же развилось земледелие и, следовательно, население возросло, стало и больше охотников, которые занялись истреблением оставшихся животных. Многие виды животных вымерли, скорее всего, вследствие такой чрезмерной охоты. Но на определенный короткий период этот «запас» животных явился дополнительным источником энергии при переходе к другому способу ее получения и использования.

Ранний период земледелия в США

Развитие земледелия на первых этапах американской истории может служить примером роста, основанного на накоплении запасов. Первые колонисты, освоившие Ди-

кий Запад Северной Америки в XVIII и XIX столетиях, создавали новые, более благоприятные условия для роста экономики, заменяя экстенсивные методы земледелия американских индейцев интенсивными.

Племена индейцев — это были племена скотоводов, собирателей плодов и земледельцев. Их численность была относительно низка. Первые колонисты были вооружены огнестрельным оружием и различными инструментами, привезенными из Европы, а не изготовленными с помощью энергии, полученной в Америке. Используя эти специфические продукты переработки энергии, колонисты вытесняли индейцев, целиком зависевших от старого уклада жизни.

На первых порах рост новой системы хозяйствования происходил преимущественно за счет ресурсов прежней экосистемы. Так, первые колонисты строили хижины и отапливали их топливом, используя продукты экосистемы леса. Вначале они собирали богатые урожаи потому, что почва была богата питательными веществами, которые совершали круговорот в экосистемах леса и прерий. Однако через несколько лет накопленные запасы питательных веществ стали истощаться. Колонисты снимались с насиженных мест, двигались дальше на Запад и повторяли прежний цикл. До тех пор пока этот процесс мог продолжаться, новая система земледелия была более продуктивна, чем прежняя, сочетавшая охоту, сбор плодов и земледелие, ибо новая система строилась на основе использования старых запасов энергии. Производство пищевых продуктов временно возрастало. Однако этот более высокий уровень не мог поддерживаться без поступления дополнительной энергии.

Система земледелия первых американских колонистов в чем-то похожа на систему подсечно-переложного земледелия, однако колонисты вместо того, чтобы возвращаться периодически к ранее обрабатывавшимся участкам земли, переходили на новые земли, т. е. эксплуатировали новые источники энергии. Эта система, использовавшая запасы энергии, накопленные в лесах, функционировала достаточно долго, что позволило найти дополнительные источники энергии — каменный уголь и нефть. Используя минеральное топливо в промышленном производстве, человек смог заменить энергетические запасы природных эко-

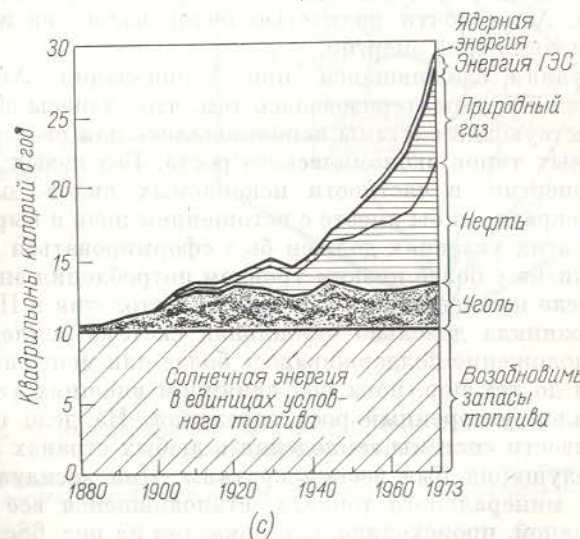
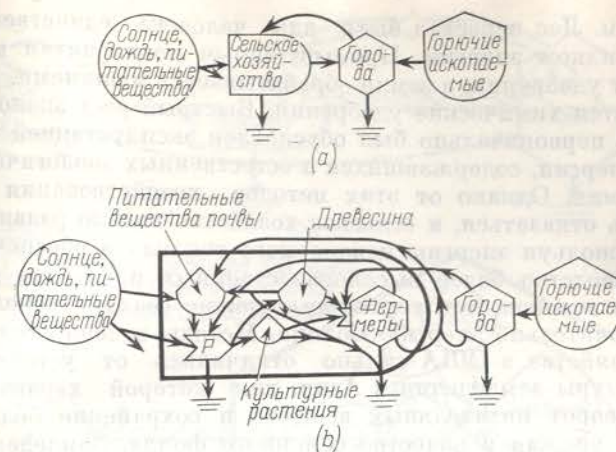


Рис. 68. Система земледелия первых американских колонистов основывалась на использовании солнечной энергии и определенных запасов энергии, сосредоточенной в почвах и лесах. Дальнейшее развитие этой системы происходило с применением энергии горючих ископаемых.

а) Диаграмма в целом. б) Энергетические потоки. в) Потребление энергии в США (по данным Горного Бюро США). Солнечная энергия — это поток возобновимой энергии, поступающей в экосистему. Для оценки его величины в единицах условного топлива его величина, выраженная в калориях, была разделена на 2000.

систем. Лес перестал быть для человека единственным источником энергии. Промышленные предприятия выпускают удобрения, а земля обрабатывается машинами. В нее вносятся химические удобрения. Быстрый рост экономики США первоначально был обусловлен эксплуатацией запасов энергии, содержащихся в естественных экологических системах. Однако от этих методов хозяйствования пришлось отказаться, и сельское хозяйство начало развиваться, используя энергию ископаемого топлива и обеспечивая производство более высококачественных продуктов питания и волокон, чем те, которые можно создать, используя исключительно энергию Солнца. Методы ведения сельского хозяйства в США сильно отличались от устойчивой структуры земледелия в Азии, для которой характерны круговорот питательных веществ и сохранение большей части урожая в качестве семенного фонда. Земледелие в странах Азии почти полностью базировалось на использовании солнечной энергии.

Ситуация, сложившаяся при колонизации Америки (см. рис. 68), характеризовалась тем, что запасы энергии предшествующей системы использовались для разрывания новых типов экономического роста. Без новых источников энергии, в частности ископаемых видов топлива, рост прекратился бы вместе с истощением почв и вырубкой леса. В этих условиях должен был сформироваться новый образ жизни с более низким уровнем потребления энергии. Так, после колонизации в течение XIX столетия в Пуэрто-Рико возникла довольно стабильная система земледелия. Такое положение поддерживалось более или менее автоматически до тех пор, пока под влиянием внешних условий не начался ускоренный рост населения. На деле период устойчивости системы земледелия в любых странах западного полушария был весьма кратким. При эксплуатации запасов минерального топлива, становившейся все более интенсивной, происходило, как показано на рис. 68с, ускорение темпов роста. В трудных условиях жизни первых переселенцев в Америку складывался новый жизненный уклад, ориентированный на рост экономики и на ассимиляцию людей различных рас и культур. За шесть поколений американцы постепенно выработали и свыклись с нормами «этики роста», на которых мы подробнее остановимся в гл. 10.

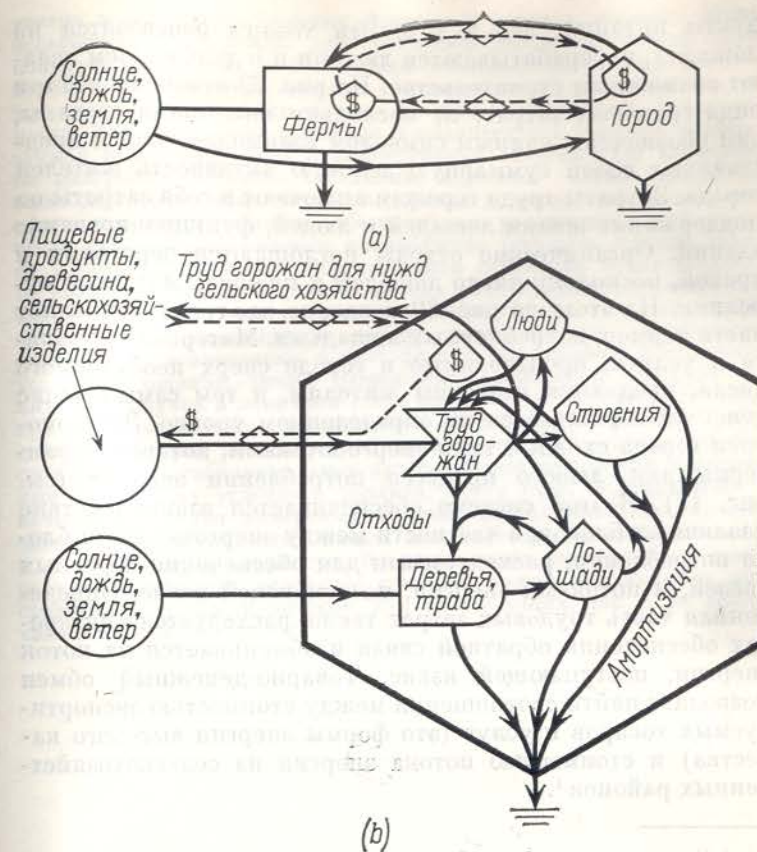


Рис. 69. Энергетические потоки в городе, обслуживающем сельскохозяйственное производство.

а) Взаимоотношение сельских поселений и города. б) Распределение энергетических потоков внутри города с большей детализацией.

Города допромышленной эпохи как потребители энергии, воплощенной в сельскохозяйственной продукции

Потоки энергии, направленные в город, связанный с близлежащим сельскохозяйственным районом, не включают в себя энергию минерального топлива (см. рис. 69). Деньги из города текут в пригородные фермы, ибо на них приобретается сельскохозяйственная продукция — про-

дукты питания, лес и т. д. Эти товары перевозятся на лошадях, перерабатываются людьми и в дальнейшем делают возможным строительство. На рис. 69 отмечены все три вида трудовых затрат, и, поскольку они взаимосвязаны, они обозначены единым символом взаимодействия и представляют собой суммарную деловую активность жителей города. Затраты труда горожан включают в себя затраты на поддержание жизни лошадей и людей, функционирование зданий. Органические отходы поглощаются деревьями и травой, поскольку число лошадей и площадь мостовых невелики. На этом же рис. 69 показано, что трава составляет часть кормов, потребляемых лошадьми. Материальные блага и услуги, производимые в городе сверх необходимого числа, продаются сельским жителям, и тем самым запас денег поддерживается на определенном уровне. Энергопоток города схож с теми энергопотоками, которые характерны для любого процесса потребления энергии (см. рис. 12). В этой системе обеспечивается взаимодействие различных блоков, в частности между энергозапасами блока потребления, расходуемыми для обеспечения обратной связи, и потоками энергии, поступающей извне. Определенная часть трудовых затрат также расходуется в интересах обеспечения обратной связи и обменивается на поток энергии, поступающей извне. Товарно-денежный обмен позволяет найти соотношения между стоимостью экспортируемых товаров и услуг (это формы энергии высокого качества) и стоимостью потока энергии из сельскохозяйственных районов¹.

¹ В нижеследующем объяснении мы исходим из того, что энергетические потоки являются мерой стоимости, и они в конечном счете определяют ценность, которую люди приписывают деньгам. Схема города, расположенного в сельскохозяйственном регионе с устойчивыми экономическими связями (рис. 69), позволяет нам уяснить, каким образом энергетические потоки воплощают собой блага, необходимые для выживания людей, и почему денежное обращение помогает проследить путь этих благ.

Деньги циркулируют от сельских поселков (ферм) в город и обратно (см. рис. 69a). Денежный поток, текущий в одном направлении, в среднем сбалансирован встречным потоком. Движение денег противоположно по своему направлению потокам энергии. Вначале поток энергии представляет собой энергию низкого качества, вырабатываемую в сельской местности, затем энергия преобразуется и концентрируется в ходе производственных процессов и транспортировки изделий в город. В городе происходит дальнейший процесс концентрации энергии, воплощающейся

теперь в высококачественных товарах и услугах, которые вновь возвращаются в деревню. Для того чтобы локальная система была конкурентоспособной и тем самым жизнеспособной, она должна использовать все виды энергии с наименьшими потерями и в то же время вырабатывать потоки энергии наибольшей интенсивности. Для того чтобы вложение дополнительной энергии, используемой при образовании и концентрации энергии (это вложение на диаграмме показано стрелками, идущими слева направо), было достаточно эффективно, в деревне должна быть расширена сфера тех услуг, которые обеспечивают увеличение эффективности сельскохозяйственного производства (стрелки, идущие справа налево). Если такая энергетическая структура будет создана, то возникнет замкнутый цикл обмена равноценных по стоимости благ. Обращение денег и является выражением того, что люди признают обменивающиеся потоки равноценными. Энергетические потоки, вовлекаемые в этот цикл и выраженные в единицах условного топлива, также равнозначны, поскольку каждый из них был получен в конечном счете из одного и того же источника при последовательном повышении качества энергии. Энергетические диаграммы позволяют объяснить энергетическую природу стоимости. В стабильных системах эквиваленты энергии, измеренные в единицах условного топлива, могут быть использованы в качестве критерия измерения энергии, необходимой для обеспечения жизнеспособности людей или системы, и, следовательно, в качестве меры стоимости. Энергетические эквиваленты, измеренные в единицах условного топлива, можно использовать для сравнения стоимости потоков, как включающих, так и не включающих обращение денег.

Глава 10

ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕВОЛЮЦИЯ И РОСТ ГОРОДОВ

В XIX в. во всем западном мире стали интенсивно применяться паровые двигатели. Вначале они использовались для приведения в движение кораблей, поездов и водяных насосов, а затем и для других целей. Для двигателей изыскивалось топливо, расход которого возрастал по мере того, как они все шире внедрялись в производство. Разнообразные изобретения в механике и электротехнике позволили связать с помощью передаточных механизмов сложные операции по обработке и изготовлению того или иного изделия с машиной-двигателем. Двигатели становились лучше и надежнее, и вскоре энергия стала передаваться на расстояние. Ее потребление на душу населения возрастало по мере того, как увеличивалось количество двигателей, потреблявших топливо. Страны, развивавшие производство двигателей различного типа, вступили в эпоху промышленной революции.

Применение человеком машин во много раз увеличивало его естественные силы. Даже в сельском хозяйстве стали все шире применять механизированную технику для обработки земли, уборки урожая, внесения удобрений, прополки сорняков и приготовления кормов. Энергия, применявшаяся при этом, была энергией высокого качества.

Если же человек продолжал выполнять свою работу вручную, то в соревновании с рабочим, использующим машины, он оказывался в невыгодном положении и не выдерживал конкуренции. Его услуги ценились уже меньше, и он зарабатывал существенно меньше. Следовательно, его

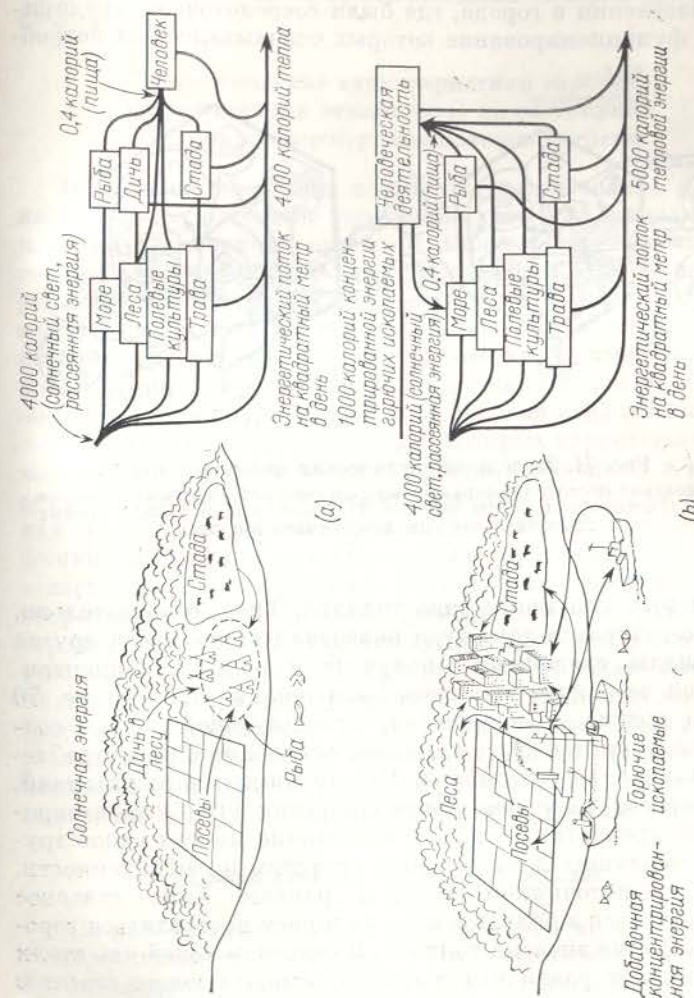


Рис. 70. Сравнение
а) экономики, основанной на использовании солнечной энергии, и б) экономики, использующей энергию полезных ископаемых.

доля в общественном богатстве уменьшалась. Для того чтобы получать столько, сколько зарабатывали те, кто пользовался машинами, люди, жившие по старинке, должны были изменить образ жизни. Это часто приводило к миграции населения в города, где были сосредоточены предприятия, функционирование которых основывалось на потреб-

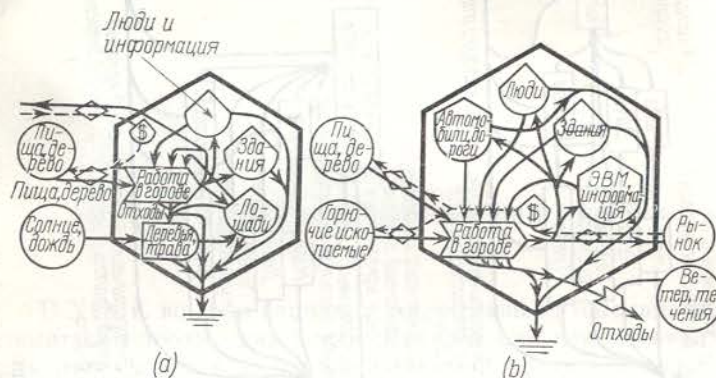


Рис. 71. Модель энергетических потоков в городе.

а) Городские поселения, окруженные сельскохозяйственными фермами, использующими солнечную энергию. б) Город, использующий преимущественно энергию ископаемого топлива.

лении того или иного вида топлива. Труд, следовательно, сосредоточивался там, куда подвозились топливо и другие материалы, связанные с получением энергии, концентрировался там, куда их легко было доставлять. На рис. 70 дается сравнение экономики, использующей только солнечную энергию, с экономикой, основанной на потреблении минерального топлива. Между ними много различий.

Энергия, получаемая при сжигании угля и нефтепродуктов, превратила города в средоточие многих видов труда, положивших начало новым отраслям промышленности. Энергия, источником которой раньше было сельское хозяйство, все в большей мере начинает поставляться городами в форме энергии топлива. В сельском хозяйстве стали применяться различные машины, использующие энергию ископаемых видов топлива. В городах с помощью машинной техники производятся удобрения, сельскохозяйственная техника и ядохимикаты. Индустриализованные фермы стали теперь как бы продолжением города: значитель-

ная часть сельскохозяйственных рабочих живет в городах и ездит на фермы, пользуясь тем или иным видом транспорта. Сопоставление основных потоков энергии в небольших городах и крупных промышленных центрах приводится на рис. 71.

Энергетические характеристики городов, потребляющих ископаемые виды топлива. Большая концентрация потоков энергии

Постепенно сложился новый тип человеческих поселений — быстро растущие города. На рис. 71б схематически изображены основные процессы, характерные для жизни в городе, в основе которой лежит потребление энергии минерального топлива. В общем, городу присущи высокая концентрация энергии на акр земли, большое количество машин, автомобилей, компьютеров, высокие постройки, большая сложность жизни, большая масса отходов и быстрое обращение денег. До тех пор пока энергия ископаемого топлива дешева, крупные города, для которых характерно наличие больших энергетических потоков, побеждают в конкурентной борьбе с городскими поселками. Людям проще найти работу в крупных городах, где энергия обеспечивает функционирование промышленных предприятий, правительство учреждений и направляется даже на благотворительные цели. Способы хранения энергии, развитые в городах, аналогичны тем, что существуют в сельскохозяйственных поселениях. В крупных же городах вместе с интенсификацией производства площадь зеленых массивов (деревьев и кустарников) резко снижается. Теперь уже отходы производства не поглощаются и не подвергаются переработке в пределах города, а должны вывозиться и перерабатываться на специальных предприятиях.

Связи между городом и фермами

На рис. 72 схематично показаны связи между фермами и городскими поселениями (или крупными городами). Здесь следует обратить внимание на потоки товаров и услуг; деньги циркулируют в направлении, обратном движению товаров и услуг, т. е. в обмен на них. На рис. 71 дана детализация процессов, протекающих здесь. На рис. 72 схематически изображен процесс концентрации рас-

сеиваемой солнечной энергии, осуществляемый при производстве высококачественных продуктов питания, обработке древесины и волокон, которыми снабжается город. В городе эти продукты подвергаются дальнейшей переработке, в процессе которой используются потоки высококачественной энергии, содержащейся, к примеру, в труде человека, производящего товары, направляемые на фермы. Эта диаграмма характеризует процессы, полностью основанные на использовании солнечной энергии. Между тем процессы, изображенные на рис. 72, предполагают уже использование

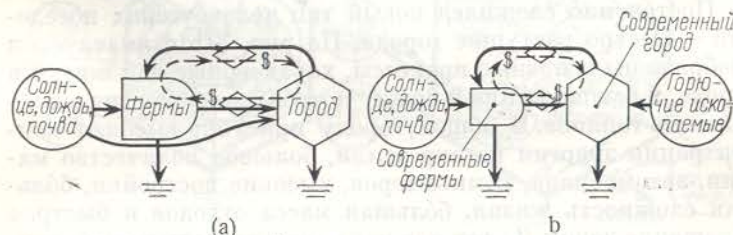


Рис. 72. Сельское хозяйство, связанное с городскими поселениями и крупными городами.

а) Без использования энергии ископаемого топлива. б) Использующие энергию минерального топлива вместе с солнечной энергией.

энергии минерального топлива. Концентрация энергии обеспечивает жизнь городов, которые в свою очередь поддерживают функционирование сельскохозяйственных ферм. Фермы уже не получают всю необходимую им энергию только из таких источников, как Солнце, осадки, сила ветра и плодородие почвы. В системе, изображенной на второй схеме, используются как энергия минерального топлива, так и солнечная энергия; эти виды энергии взаимодействуют между собой, причем использование энергии высокого качества более эффективно по сравнению с использованием солнечной энергии.

Механизмы стимулирования экономики

В гл. 5 (рис. 26) нами описаны случаи вытеснения одной из конкурирующих систем. Использование наличных запасов энергии в интересах роста экономики приводит к тому, что различные системы вступают в конкурентную борьбу за получение энергии, в ходе которой одна система может вытеснить другую. Например, одна преуспевающая

фирма приводит другие фирмы к банкротству; одни культуры вытесняют другие. Развитие западных стран, использовавших в качестве ресурсов, необходимых для роста городов, каменный уголь и нефть, отличается от развития конкурирующих с ними стран. Города в западных странах стали центрами деловой активности, способствующей росту, центрами, ускорявшими в свою очередь использование ресурсов, обеспечивающих этот рост. Системы того или иного типа стали специализироваться на применении новых источников энергии. Существует много экономически приемлемых путей ускорения роста городов: стимулирование инвестиций, выпуск акций, налоговая политика, стимулирующая повторные инвестиции, реклама. Но решающим было использование энергии для транспортировки товаров и в торговле, создание благоприятных условий для функционирования различных организаций и т. п. Высокая степень концентрации активного населения в городах увеличила потребности в коммуникациях.

Рис. 25 характеризует два типа стимулов роста. На рис. В изображены существующие во всех системах обратные связи между накопителями энергии и ее поступлением. Рис. А показывает усиление обратной связи при ускорении темпов роста и взаимодействии различных накопителей энергии, включая численность населения, число зданий и денежные активы. Следует обратить внимание на то, что этот специальный случай ускоренного роста обозначен символом саморегуляции (о нем см. в гл. 5). Этот тип ускоренного роста характеризуется большим потреблением энергии и может повлечь за собой отрицательные последствия, если усилия, направленные на получение необходимой энергии, окажутся безуспешными.

Вера в рост

Возможно, что более важным фактором, чем эти особенности, была воспитанная в нашем обществе и передававшаяся от родителей к детям общая вера в то, что рост есть благо. Считалось, что расширение сферы деловой активности уже само по себе хорошо, даже если оно связано с непроизводительными затратами. Множество целей, выдвигаемых в нашем обществе, связано с ориентацией на рост; при этом считается почти само собой разумеющимся, что они идентичны понятиям прогресса и расширения.

Особенности экономики роста. Прибыль от роста

Функционирование фермы или промышленного предприятия связано с куплей и продажей товаров и услуг. В процессе производства используются, во-первых, комбинация энергии различных видов минерального топлива, которые также покупаются, и, во-вторых, энергия таких природных источников, как земля, вода, ветер, почвы, Солнце и т. п. Производство эффективно лишь в том случае, если источники энергии, используемые для создания материальных благ и развития сферы услуг, обеспечивают прибыль, получаемую после совершения торговых сделок. (В стоимость входят затраты на товары и услуги, обеспечивающие владельцу и его семье необходимый уровень благосостояния.) Если уровень обмена достаточен для того, чтобы поддерживать функционирование предприятия и оплачивать расходы, связанные с ремонтом, эксплуатацией, заменой оборудования и другими издержками, то предприятие выдерживает конкуренцию и его экономическое положение устойчиво. Если же производство энергии растет, то растут и активы, которые уже превышают сумму, необходимую для замены оборудования, для продажи большего количества товаров и развития сферы услуг. Увеличение суммы денег, которое сопровождает рост активов, мы называем прибылью. Прибыль можно извлечь только в том случае, если энергетическая ситуация благоприятна.

Как показано на рис. 37, средства, накопленные в силу благоприятного стечения обстоятельств, должны вновь быть обращены на то, чтобы увеличить количество энергии, вовлекаемой в процесс производства, или повысить эффективность ее преобразования в условиях конкурентной борьбы с другими подобными ей системами. Денежная прибыль и активы, ей соответствующие, используются поэтому для внедрения новых методов труда.

Из рис. 73 видно, что активы могут увеличиваться, если имеются крупные источники энергии и если результаты производства позволяют покрыть амортизационные расходы и трудовые затраты. В масштабе всей страны такой рост активов позволяет пустить в оборот большую массу денег, не изменяя соотношения между объемом активов и поступлением денег. Новые деньги, полученные в этом процессе, представляют собой прибыль.

На мелком предприятии прибыль — это деньги, накопившиеся после завершения торговых сделок. Но каковы бы ни были масштабы бизнеса, новые деньги должны быть израсходованы и пущены в оборот в целях обеспечения дальнейшего поступления энергии и функционирования предприятия в целом.

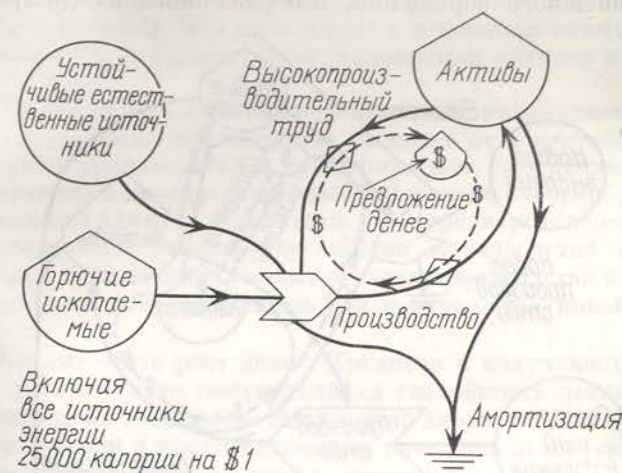


Рис. 73. Денежное обращение и его отношение к энергетическим потокам в США. Богатство в его денежном выражении, денежные запасы должны соответствовать росту или падению совокупного богатства.

Чистый рост активов, капитала и инвестиций

Активы, как мы только что говорили, есть результат производительного труда и включает в себя всю совокупность накопленных ценностей (постройки, товары, продовольствие, знания и др.). Когда производство активов превышает потери от амортизации, запасы активов возрастают. Накопленные активы могут быть использованы для получения новой энергии. Активы в сочетании с новыми источниками энергии способствуют дальнейшему ускорению ее поступления. Особенности таких вторичных потоков энергии, выполняющих функции обратной связи, показаны на рис. 12, 17 и 25.

Денежное обращение, как было показано в гл. 4, по своему направлению противоположно процессу трудовых

затрат: деньги обмениваются на товары и услуги. Поток денег соответствует потоку высвобожденной энергии. Так, на рис. 73 соотношение между потоками энергии и денег равно 25 000 Калорий набора продуктов, созданных в производственном процессе, на 1 доллар, находящийся в обращении. Следует обратить внимание на замкнутый характер денежного обращения, изображенного на диаграмме

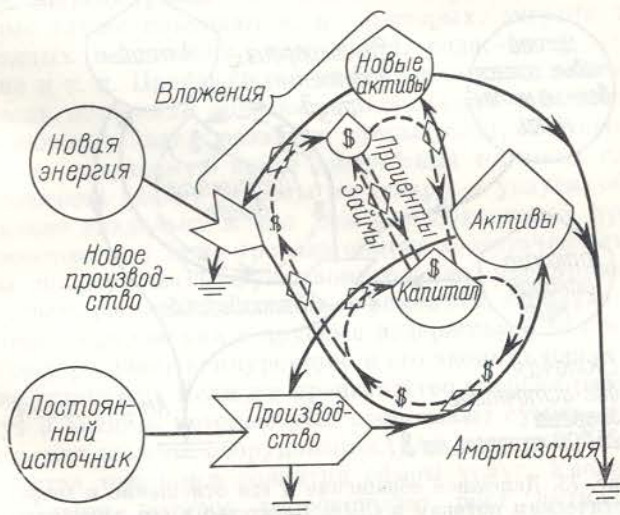


Рис. 74. Денежные инвестиции, взятые в кредит, обеспечивают прирост новой энергии в решающих отраслях экономики и закупку новых товаров, кладущую начало новому производственному циклу. Пример: в сельском хозяйстве инвестиции способствуют максимальному использованию энергии минерального топлива.

пунктирной линией, и на то, что его направление противоположно движению товарных масс. Если поступление энергии достаточно для увеличения объема производства, то объем накапливаемых активов также растет; благодаря наличию механизмов обратной связи это приводит к увеличению объема производства, а также массы денег, находящихся в обращении. В конечном счете это выражает рост реально вложенного труда. Введение в оборот большего количества денег не предполагает роста трудовых затрат в расчете на 1 доллар. Оно может способствовать рос-

ту производства, при условии, что имеется избыток потребляемой энергии.

На рис. 74 изображена схема производства при поступлении новых активов, затрачиваемых на эксплуатацию нового источника энергии, т. е. при инвестициях. Инвестиции могут быть осуществлены путем получения кредита; денежные активы, полученные таким образом, называются капиталом. Что происходит с денежным капиталом в периоды роста производства, накопления активов и новых инвестиций?

Величина дополнительного капитала, направляемого на стимулирование производства, зависит от масштабов расширения производства и суммы активов, обеспечивающих вовлечение в производственный цикл новой энергии. Дополнительный капитал бесполезен, если предварительно не было обеспечено расширение объема производства и рост активов. Инвестиции в новые отрасли производства не дадут положительных результатов без поступления новой энергии.

Кредит — это рост денег. Кредитор и получающий кредит полагают, что покупательная способность денег находится под их контролем. Если в дело вводятся новые источники энергии и кредит позволяет повысить деловую активность, это означает, что в производственный процесс вовлекается энергия, соответствующая увеличению массы денег, находящихся в обращении.

Если же деловая активность находится в устойчивом состоянии, производство и активы постоянны, то вновь инвестируемые деньги только уменьшают количество товаров, которые можно купить на 1 доллар. Таким образом, реальная покупательная способность денег падает. Это означает, что пущенные в оборот деньги привели к инфляции. Количество денег, которое может находиться в обращении без потери их покупательной способности, зависит от уровня производительности и богатства, которые необходимы для поддержания определенного уровня жизни. Покупательная способность денег не может увеличиваться, если не расширяется энергетическая база.

На рис. 74 активы, соответствовавшие прежнему уровню производства и количеству обращавшихся при этом денег, отделены от поступления новых накоплений, необходимых для достижения нового уровня производства, когда деньги, полученные в кредит, вкладываются в эксплуатацию

новых источников энергии. Использование денег на новом уровне деловой активности позволяет направить новые инвестиции на приобретение товаров и услуг, ранее осуществлявшееся за счет старых активов. Если новые источники энергии вводятся успешно, то уровень богатства будет достаточен для выплаты процентов по кредитам. Кредиты не предоставляются, если не выплачивается определенный процент за пользование им. Выплата процентов связана с вкладыванием в производство дополнительной суммы денег.

Если выплата учетного процента не сопровождается соответствующим увеличением производительности, то объемом производства в его денежном выражении сократится и реальная покупательная способность денег снизится на эту сумму. Это и есть инфляция. Если падение покупательной способности больше, чем сумма выплат процентов по кредиту, то кредиторы получают меньше, чем они дали в кредит; конечно, в этом случае они не станут кредитовать кого-либо, если найдут лучшие способы применения своим деньгам. Если ставка учетного процента выше темпов роста производства, то предприниматели, получающие кредит, не смогут выплачивать проценты по нему и при этом еще получать прибыль. Кредиторы будут стремиться поддерживать ставку учетного процента на более высоком уровне, с тем чтобы даже при инфляции кредитруемые ими деньги не теряли своей покупательной способности. Кредиты, которые используются без привлечения новых источников энергии, могут вызвать банкротство фирмы, ибо кредитордержатель не в состоянии погасить свою задолженность. В общем и целом следует сказать, что без вовлечения в производственный процесс новых источников энергии нельзя создать ни новый капитал, ни повысить уровень промышленного производства.

Более сложные экономические циклы

До тех пор пока энергетические ресурсы были велики, легкодоступны и еще не полностью истощены, диспропорции в развитии социальной и финансовой систем определяли пределы роста экономики. Многие аспекты бурного роста экономики, в частности резкие изменения в финансовой системе и неравномерное распределение богатства, поражают воображение каждого из нас. Осознание в последние два столетия отрицательных сторон роста эконо-

мики привело к многочисленным попыткам избавиться от них с помощью изменений институтов управления, методов контроля за денежным обращением, системы налогообложения и установок людей относительно использования энергии и денег.

Одной из самых сложных и серьезных проблем периода бурного промышленного развития было резкое колебание экономической конъюнктуры — от процветания, когда люди охотно пускали свои деньги в оборот, приводя тем самым в движение новые энергетические потоки, до депрессии, когда количество денег, находившихся в обращении, значительно уменьшалось. Эти колебания называются **экономическими циклами**. Для того чтобы в тяжелые времена свести концы с концами, люди экономней расходуют деньги, что ведет к сокращению суммарных расходов населения, а это в свою очередь влечет за собой спад в потреблении энергии. Экономисты предложили стимулировать развитие неустойчивой экономики путем выпуска в обращение большого количества денег, с тем чтобы побудить население к их расходованию. И это действительно приводит к увеличению денежных затрат. Но вместе с этим возникают инфляционные процессы.

Потребительские товары и свободное время

В тот период, когда источники энергии были легкодоступны и рост экономики промышленных стран опережал рост экономики слаборазвитых стран, затраты на энергию, казалось, не имеют большого значения. Считалось, что важны лишь затраты денег независимо от того, какие товары или услуги приобретаются на них, существенно лишь, что деньги пускаются в оборот. Это привело к тому, что рекламирование предметов роскоши считалось столь же полезным, как и направление новых энергетических потоков в производственные процессы, которые могли бы повысить уровень полезной энергии. Некоторые потребительские товары, такие, как автомобили, действительно экономии время людей, обеспечивая большую эффективность их труда. Но стремление людей меньше работать и иметь больше свободного времени в конечном счете привело к уменьшению производительности труда, которое нельзя было возместить выпуском потребительских товаров.

Борьба с болезнями

Эксплуатация новых крупных источников минерального топлива приводила к росту активов, производства, падению цен и увеличению массы денег, находившихся в обращении. Так осуществляется рост экономики. Пуск в оборот все новых и новых средств может повлечь за собой такой рост населения, при котором не уменьшалась бы масса благ в расчете на душу населения. Вначале рост численности населения привел к увеличению числа заболеваний. В XIX в. вместе с концентрацией людей в городах возросло количество эпидемий. Возникновение одних объясняется скученностью населения в городах, при которой микробы легко передаются от одного человека к другому. Вспышка других вызывается тем, что инфекция проникает в источники питьевой воды. Люди, переселившиеся из сельских мест в города, были особенно подвержены заболеваниям, поскольку они не обладали иммунитетом к болезнетворным микробам. Переносчиками некоторых эпидемических заболеваний были животные (малярия), комары (желтая лихорадка), вши и крысы (бубонная чума).

Рост денежных и энергетических инвестиций в экономику позволил направить определенную часть их на изучение причин возникновения болезней и их профилактику, а затем и на борьбу с ними. Работы Л. Пастера и ряда ученых из различных стран позволили начать вакцинацию населения, разработать меры по охране здоровья и изменить прежнюю систему здравоохранения. Были созданы очистные сооружения, которые нарушали цикл развития микробов в сточных водах и тем самым значительно уменьшали зону их распространения в условиях высокой плотности населения. Окна с сетками для защиты от комаров и другие аналогичные меры снижали заболеваемость людей болезнями, переносчиками которых были насекомые. К середине XX в. эпидемические заболевания были достаточно хорошо изучены, что позволило в тех странах, где существовали система медицинского обслуживания, стабильность общественной жизни, создать условия для профилактики и борьбы с эпидемическими заболеваниями. Эпидемии стали локальными. В основном они связаны с войнами и такими стихийными бедствиями, как землетрясения.

Бурный рост населения

Медицинские средства, активно воздействовавшие на ход болезней, не только позволили приостановить развитие эпидемий, порожденных скученностью населения в городах, но и увеличить продолжительность жизни человека. Рост численности населения помог некоторым странам, например Соединенным Штатам Америки, расширить производство энергии. Увеличение численности населения обеспечило рост численности рабочих, необходимых для дальнейшего расширения производства энергии и обеспечения его ускоренного роста. Любое явление, казавшееся полезным для поддержания эффективности экономики и развития культуры, почиталось за благо. Для устойчивых социальных структур были характерны низкий уровень заболеваемости, определенный уровень детской смертности и сравнительно ранняя смертность людей пожилого возраста. Становление новой медицинской и социальной этики выдвинуло на первый план проблемы снижения заболеваемости, обеспечения по возможности большей продолжительности жизни и увеличения численности населения.

Новая этика и научные знания, позволяющие предупреждать и контролировать болезни, быстро распространились в мире. Новые идеи проникли в такие густонаселенные страны, как Индия, задолго до того, как там была создана промышленность, использующая ископаемое топливо. В результате темпы роста населения были более высокими, чем темпы энергетической базы экономики, уровень жизни снижался и все более ощущалась нехватка природных ресурсов и источников продовольствия.

Этот процесс, казалось, охватил весь мир. Широкая механизация человеком своего труда позволила сформировать и распространить образ жизни, для которого характерно более высокое потребление энергии в расчете на душу населения и повышение роли людей в экологических системах. Люди, живущие в промышленно развитых странах, получили возможность меньше работать. При этом, зарабатывая достаточно денег на то, чтобы купить предметы первой необходимости и предметы роскоши, они обретали свободу выбора в распоряжении своим временем, досугом и новым богатством.

Осознание роли энергии

До наступления промышленной революции люди, занятые в сельском хозяйстве, полностью осознавали ценность естественных источников энергии. Они знали, что производительность их труда зависела от Солнца, дождя, почвенно-климатических условий и т. д. Тот, кто жил в сельской местности, хорошо понимал, что для поддержания производительности труда на определенном уровне необходимы определенные затраты человеческого труда. Они понимали ценность природы и труда, ибо могли непосредственно видеть те результаты, которые получены благодаря использованию природных источников энергии и труда каждого человека. Когда люди, обладавшие подобными представлениями о роли энергии, переселялись в города и поселки по мере углубления промышленной революции, они, конечно, на первых порах придерживались своих прежних мнений и позиций. Их труд и бережливость обеспечили конкурентоспособность производства периода промышленной революции. Темпы развития стран, сумевших сохранить прежние ценностные ориентации у людей, сберечь природные ресурсы и в то же время использовать новые источники энергии, были гораздо выше темпов развития тех стран, которые сохранили в неизменном виде прежние ценностные ориентации у людей и экономика которых основывалась на использовании солнечной энергии.

Индустриализация экономики позволила ряду стран настолько обогнать своих конкурентов, что предлагаемые здесь решения о способах использования избыточных ресурсов и активов, свободного времени и новых источников энергии уже не имели существенного значения. Вначале расточительная эксплуатация энергетических ресурсов не оказывала влияния на статус этих стран в международном сообществе, поскольку только они располагали разнообразной техникой, потреблявшей энергию новых источников — минерального топлива. Новое поколение людей, родившееся в этих странах, и даже ряд поколений разучились ценить естественные источники энергии. Они руководствовались тем, что энергия всегда будет в избытке. Они также полагали, что новая техника позволит решить любую задачу, не испытывая каких-либо ограничений, связанных с энергией.

Для большинства людей, замыкавших в качестве потре-

бителей цепь преобразования энергии, рост энергетических потоков, направлявшихся все в большем объеме по мере роста городов на строительство промышленных предприятий, электростанций и индустриализацию сельскохозяйственного производства на фермах, был почти незаметен. Они плохо представляли себе многообразие видов используемой энергии, не зная ничего другого, кроме той энергии, которую они покупали на автозаправочных станциях, или той, которая обеспечивала работу их бытовых электроприборов. Плата за бензин и электричество была невысокой, ибо она покрывала только трудовые затраты, связанные с доставкой энергии, а отнюдь не истинную стоимость энергии топлива и потоков энергии, доставляемой потребителю. Это не самая реалистическая оценка роли и ценности энергии.

Многообразие источников энергии

К 1970 г. рост городов и развитие человеческого общества позволили значительно расширить накопленные активы. Рассмотрим в качестве примера прибрежный район Флориды с различными источниками энергии (см. рис. 75). Часть энергетических потребностей этого района, как и раньше, обеспечивается за счет энергии Солнца, ветра, приливов и волн. Новые ее источники стали разрабатываться только в результате роста экономики, позволившего использовать часть доходов для покупки и доставки минерального топлива. В экономике возросла роль электрических станций. Современный город использует все виды существующей энергии. Это может служить еще одним примером того, как в жизнеспособном обществе взаимодействие различных по качеству видов энергии обеспечивает повышение уровня производства.

Электростанции

Развитие техники производства и применения электрической энергии было тесно связано с промышленной революцией и ростом городов. Электроэнергия — энергия высокого качества. Для ее получения требуется большой объем ископаемого топлива, используемого непосредственно (в виде топлива) и косвенно (энергетические установки, ЛЭП). Электрическая энергия чиста по своей природе и

может применяться для повышения эффективности многих отраслей производства. Совершенствование методов производства и широкое использование электроэнергии позволило более эффективно связать богатые энергетические ресурсы со всеми видами деятельности, присущими городу.

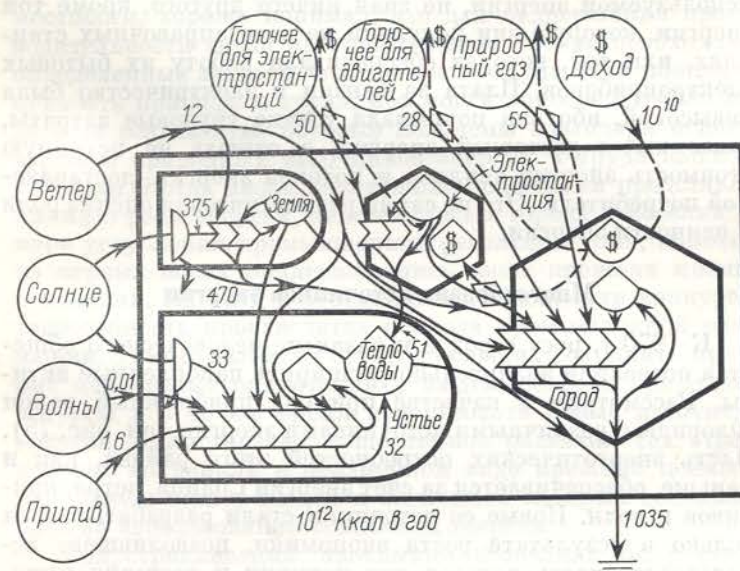


Рис. 75. Диаграмма потоков энергии на территории, обслуживаемой «Флорида пауэр корпорейшн» (Северо-Запад Флориды). Потоки энергии, связанные с куплей-продажей товаров и услуг, в диаграмму не включены.

Система производства электроэнергии на основе использования различных видов ископаемого топлива показана на рис. 30. Следует обратить внимание на вторичные потоки энергии, выполняющие функцию механизма обратной связи и связанные с добычей и транспортировкой нефти, используемой затем для эксплуатации установок, вырабатывающих электроэнергию. Для получения одной Калории электроэнергии требуется израсходовать почти 4 Калории нефти. Энергия, содержащаяся в нефтепродуктах, преобразуется в электроэнергию с помощью паровых турбин, приводящих в движение электрические генераторы.

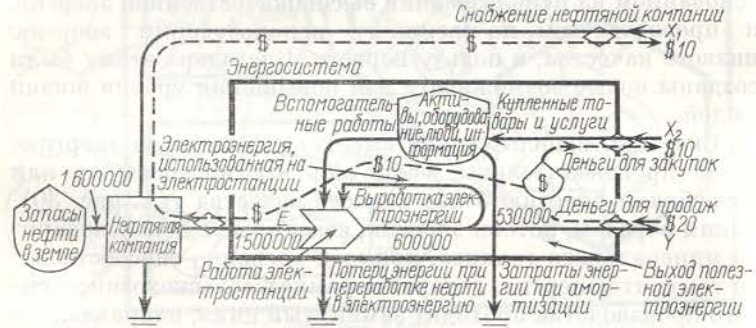
Воздействие окружающей среды

На рис. 29 изображены потоки энергии высокого качества, связанные с деятельностью людей (справа) и зависящие от потоков солнечной энергии (слева), более низкой по своему качеству. Если энергия поступает только от источника энергии низкого качества (Солнце), то количество высококачественной энергии, зависящее от этого источника и поддерживающее равновесие во взаимоотношении человека и природы, относительно невелико.

Промышленная революция дала производству новый источник высококачественной энергии — минеральное топливо. Это изменило соотношение между производством, основанном на использовании высококачественной энергии, и производством, по-прежнему использующим энергию низкого качества, в пользу первого. Благодаря этому были созданы новые возможности для повышения уровня жизни людей.

Системы, использующие высококачественную энергию, более производительны, если они взаимодействуют или потребляют энергию более низкого качества (см. рис. 30). Таким образом, потоки энергии, связанные с использованием минерального топлива, прямо и косвенно способствовали тому, что энергия, которая в рамках сельскохозяйственного производства проходит замкнутый цикл, направлялась на развитие новых отраслей производства. В таких урбанизированных странах, как США, Япония, и в Западной Европе все природные ареалы оказались вовлечены в процесс взаимодействия между энергией, получаемой в городах, и солнечной энергией. Это взаимодействие характерно для сельского и лесного хозяйств, для технически оснащенного рыбного промысла, для технических сооружений, уменьшающих загрязнение окружающей среды, для пригородного жилищного строительства и туризма. Широкое использование энергии ископаемых видов топлива столкнулось с нехваткой энергии более низкого качества, необходимой для обеспечения взаимодействия с потоками высококачественной энергии. Методы использования окружающей среды, повышая эффективность капиталовложений, направляемых на развитие городов, стали почти повсеместно оказывать влияние на структуру окружающей среды. Это обнаруживается в загрязнении окружающей среды, в возникновении других последствий, угрожающих здоровью

The diagram shows the flow of goods and services between an oil company and an oil refinery. On the left, the 'Нефтяная компания' (Oil Company) is represented by an oil pumpjack and storage tanks. On the right, the 'Нефтеочистительный завод' (Oil Refining Plant) is represented by industrial buildings and a tall distillation column. A solid arrow labeled 'Товары и услуги' (Goods and services) points from the refinery to the oil company. A dashed arrow labeled '\$' points from the oil company to the refinery. A solid arrow labeled 'Сбыт электроэнергии' (Electricity sales) points from the refinery to the right. A dashed arrow labeled '\$' points from the refinery to the right, indicating the flow of revenue from electricity sales.



Мерой взаимодействия городского труда, использующего энергию горючих ископаемых, с солнечной энергией является соотношение между ними, выраженное в единицах условного топлива (ЕУТ). В США, где ущерб, наносимый окружающей среде, приобретает характер национального бедствия, это соотношение в 1973 г. составило 2,5 к 1 (2,5 килокалория энергии минерального топлива и 1,0 килокалория солнечной энергии).

Модель взаимодействия между различными видами энергии для США, представленная на рис. 73 и 17, отображает, каким образом производство высококачественных

Глава 11

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ, ИСПОЛЗУЕМЫЕ ЧЕЛОВЕКОМ

Примитивные общества с относительно низким уровнем потребления энергии жили в экологических системах, функционирование которых обеспечивалось устойчивыми потоками энергии воздуха, океана и Земли. Современное общество создало многообразные специальные системы производства энергии и более непосредственного использования энергоресурсов нашей планеты. Повышение степени использования энергии позволяет активизировать человеческую деятельность, но вместе с тем налагает на человека большую ответственность за выживание человеческого рода. Люди создают гигантские промышленные системы получения, преобразования и потребления энергии каменного угля и нефти, солнечной энергии (через сельскохозяйственные культуры), энергии ветра, геотермальной, ядерной энергии и многих других видов энергии. Функционирование этих энергосистем связано с большими затратами материалов, с высоким уровнем производства и сферы услуг, с затратами энергии на получение полезной энергии. Поэтому нередко упускается из виду то, какие источники энергии действительно богаты, а какие потребляют больше энергии, чем производят. Многие способы использования энергии связаны с загрязнением окружающей среды. С энергетической точки зрения загрязнение среды мешает функционированию энергетических потоков системы жизнеобеспечения этой среды. Если принять во внимание затраты на поддержание равновесия в природе, то сово-

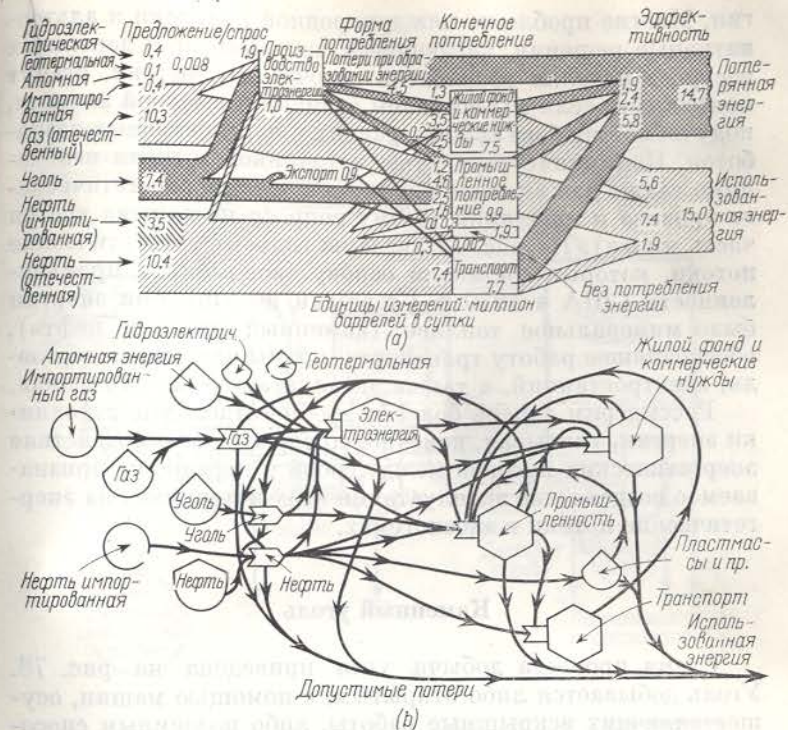


Рис. 77. Энергетические потоки в США в 1970 г.

а) Схема потоков: ширина потока пропорциональна его величине. Термин «потеря энергии» обманчив: энергия не теряется, а в процессе использования, теряя качество, переходит в тепло. б) Энергетическая диаграмма.

купный результат воздействия систем, потребляющих энергию, может быть отрицательным.

В шестой главе мы использовали энергетические диаграммы, чтобы показать скрытые взаимозависимости и ввести понятие полезной энергии. В настоящей главе будет рассмотрено комбинирование основных видов энергии, обеспечивающее функционирование современного общества, а также те источники энергии, которые можно рассматривать потенциально полезными. Мы должны иметь представление о полезной энергии и о каждом типе энергетических потоков, составляющих основу всей нашей культуры. Мы хотим знать, какие источники могут быть полезными в будущем и какова их роль в производстве полезной энер-

гии. Многие проблемы международной политики и альтернативные решения, касающиеся использования денежных ресурсов в целях разработки источников энергии, станут понятными, если мы осознаем величину полезной энергии, получаемой на базе существующих и перспективных разработок. Понимание структуры источников энергии необходимо также для анализа причин и существа энергетического кризиса и инфляции (этому вопросу посвящена третья часть книги). На рис. 77 указаны главные энергетические потоки, которые составили основу экономики и промышленности США в 1970 г. Главными источниками энергии было минеральное топливо (каменный уголь и нефть), обеспечившее работу транспорта, промышленности, торговли, электростанций, а также эксплуатацию жилого фонда.

Рассмотрим теперь более подробно отдельные источники энергии, учитывая, конечно, то скрытое взаимодействие энергетических потоков между собой и нередко не признаваемое воздействие эксплуатации этих источников на энергетические потоки в экосистемах.

Каменный уголь

Схема процесса добычи угля приведена на рис. 78. Уголь добывается либо открытым, с помощью машин, осуществляющих вскрышные работы, либо подземным способом, путем прокладки туннелей (шахт), если уголь залегает в недрах Земли. Добыча угля связана с прямыми (обеспечение работы машин) и косвенными затратами энергии (функционирование тех отраслей экономики, которые обеспечивают страну товарами, услугами и рабочей силой). Если структура почвы разрушается в процессе добычи угля, это приводит к тому, что на этих участках уже невозможен рост растительности и сельскохозяйственных культур до тех пор, пока почва снова не восстановит свою структуру. При естественном восстановлении на это уходит много лет. Однако энергию можно направить на то, чтобы ускорить восстановление структуры почвы и засеять ее продуктивными сельскохозяйственными культурами, тем самым увеличивается совокупный энергетический вклад. Соответствующие энергетические диаграммы показывают, каковы наиболее продуктивные способы получения энергии.

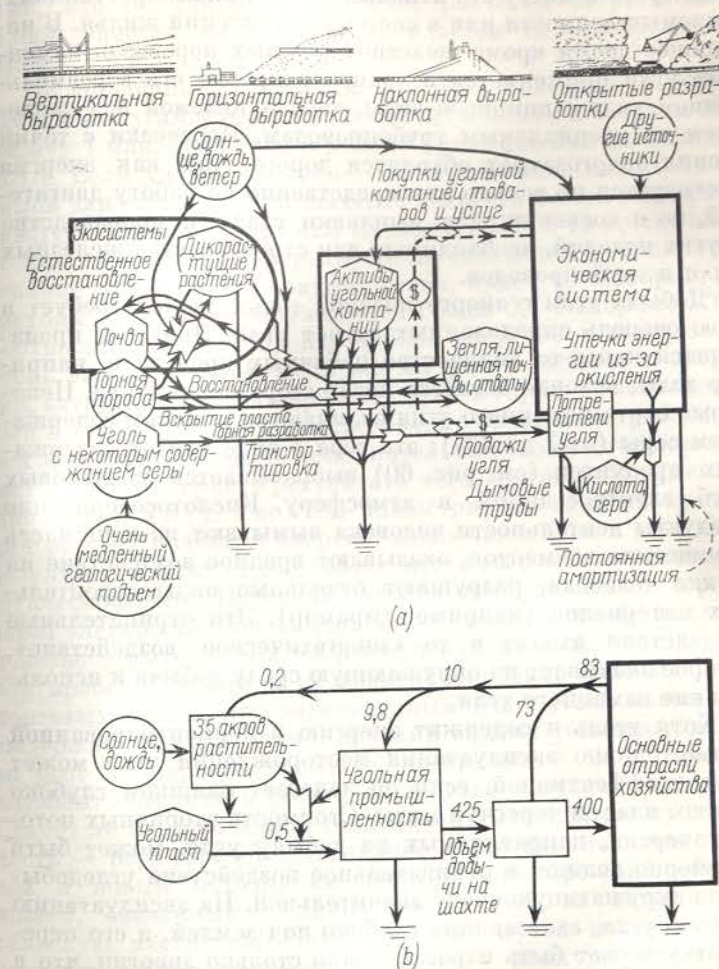


Рис. 78. Энергетические потоки при добыче угля открытым способом с учетом влияния на окружающую среду.

а) детализированная энергетическая диаграмма. б) Суммарные оценки энергетических потоков для 1 млн. т каменного угля. В стоимость энергии включены перевозки в город, расположенный на Среднем Западе, и распределение ее по электрическим сетям. Числа на энергетической диаграмме представляют собой килокалории условного топлива, умноженные на 10^{10} .

Каменный уголь перевозится на баржах или по железной дороге к месту его использования на электростанциях, в промышленности или в системах отопления жилья. В настоящее время кроме железнодорожных перевозок каменного угля применяется и транспортировка его в размельченном виде с помощью воды, перекачиваемой под давлением по специальным трубопроводам. Перевозки с точки зрения энергозатрат обходятся дорого, так как энергия расходуется не только непосредственно на работу двигателей, но и косвенно, для выплавки стали и производства других изделий, необходимых для строительства железных дорог и трубопроводов.

Добыча угля с энергетической точки зрения требует в свою очередь определенных затрат угля. При этом производится какое-то количество побочных продуктов, например золы, которая остается после сгорания топлива. Некоторые сорта каменного угля отличаются высоким содержанием серы (от 2 до 3%); эта сера в виде кислотосодержащих продуктов (см. рис. 60) выбрасывается из дымовых труб электростанций в атмосферу. Кислотосодержащие продукты деятельности человека вымывают из почв часть химических элементов, оказывают вредное воздействие на легкие человека, разрушают отдельные виды строительных материалов (например, мрамор). Эти отрицательные последствия входят в то «энергетическое воздействие», которое оказывает на окружающую среду добыча и использование каменного угля.

Хотя уголь и содержит энергию в концентрированной форме, однако эксплуатация месторождений угля может быть неэффективной, если он залегают слишком глубоко или его пласты чересчур малы. Стоимость вторичных потоков энергии, направляемых на добычу угля, может быть чрезмерно велика, а отрицательное воздействие угледобычи на окружающую среду значительной. На эксплуатацию пластов угля, залегающих глубоко под землей, и его переработку может быть израсходовано столько энергии, что в целом затраченные усилия окажутся неэффективными. Пласты угля глубокого залегания лучше всего не трогать — в ходе нормальной эволюции земной коры эти пласты будут втянуты в долговременные геологические процессы или спустя некоторое время выйдут на поверхность, что существенно облегчит их разработку. Залежи каменного угля скрывают большие запасы полезной энергии, однако

эти запасы меньше тех оценок, которые сообщаются теми, кто не учитывает в своих расчетах затраты полезной энергии на разработку пластов глубокого залегания.

На упрощенной схеме (см. рис. 78b) показана суммарная добыча угля в энергетическом исчислении и затраты на добычу 1 млн. тонн угля в районе Грейт Плейнз на Западе США. Если учитывать стоимость только энергии, необходимой для эксплуатации шахт, то энергетический выход на каждую шахту составит 425 Калорий ЕУТ, в то время как стоимость вторичной энергии, обеспечивающей функционирование механизмов обратной связи, будет 10 Калорий, а расходы на защиту окружающей среды 0,7 Калорий ЕУТ. Соотношение между произведенной энергией и затратами очень высоко — 40:1. Если же мы учтем стоимость энергии, затрачиваемой на перевозку угля в город, расположенный в другом штате, и распределение энергии, выработанной электростанцией, то дополнительная стоимость энергии составит 83 Калории, в результате чего соотношение уменьшается до 4,8:1. Рис. 78b иллюстрирует важный принцип расчета полезной энергии, заключающийся в том, что результат зависит от того, какое место вы занимаете в энергетической цепи. Полезная энергия, поступающая в город через электростанции, имеет более низкий коэффициент полезного выхода, чем энергия, полученная за счет закупок арабской нефти и ее транспортировки. Поэтому для портовых городов при определенных ценах уголь может не выдержать конкуренции с другими видами топлива. Однако рост шахтерских поселков, превращение их в города, позволит обеспечить рост производства полезной энергии. Станет ли это решающей тенденцией? Что следует предпочесть — рост городов и связанное с ним перемещение людей к новым источникам энергии или прежний образ жизни, связанный с движением людей из городов в сельскую местность? Какой из этих путей потребления энергии делает экономику более конкурентоспособной?

Рис. 78b свидетельствует также о том, что ухудшение окружающей среды существенно, но значительно меньше суммарного количества полученной энергии. Стоимость энергии, затрачиваемой на восстановление земельных угодий, мала по сравнению с величиной получаемой энергии.

Газ

Органические вещества, содержащиеся в отложениях, подвержены изменениям, в результате которых некоторые из них трансформируются в природный газ.

Природный газ содержит горючие газы: водород, метан, бутан, пропан и другие компоненты — в различном процентном содержании. Поскольку скопления газа в отложениях находятся под давлением находящихся над ними пород, газ обычно поступает на поверхность самотеком, в связи с этим его получение обходится дешево. Из всех горючих ископаемых природный газ требует наименьших затрат на его добычу и транспортировку по газопроводам, а его сжигание дает более высокую температуру. Простота его использования и поддержание правительством низких цен на газ приводит к тому, что в США природный газ нашел широкое применение. Природный газ — это источник наиболее ценной энергии. Вероятнее всего, он займет первое место среди ископаемых видов топлива и цены на него повысятся (см. рис. 79).

США предлагали покупать определенное количество природного газа за рубежом, сжигать его и ввозить на специальных судах. Однако это связано с определенным риском: авария в системе охлаждения или несчастный случай могут привести к взрывам и отравлению атмосферы. Железнодорожные перевозки пропана могут служить примером тому: авария нередко вызывала взрыв пропана, которые были разрушены железнодорожные вагоны.

В ряде американских городов газ, используемый для отопления, получают из других горючих ископаемых. Например, метан можно получать при переработке сточных вод, некоторых видов отходов или в качестве побочного продукта при производстве кокса и древесного угля. В настоящее время предпринимаются попытки получить газ из каменного угля; этот процесс позволит превратить уголь в горючее, которое можно будет транспортировать более простым путем — по трубопроводам.

Сеть трубопроводов покрывает многие районы страны и соединяет их с Техасом, Оклахомой и другими штатами, богатыми природным газом. Они могут в конечном счете использоваться для транспортировки других видов горючих ископаемых, например искусственного (промышленного) газа, угля в виде пульпы или более тяжелые ископаемые

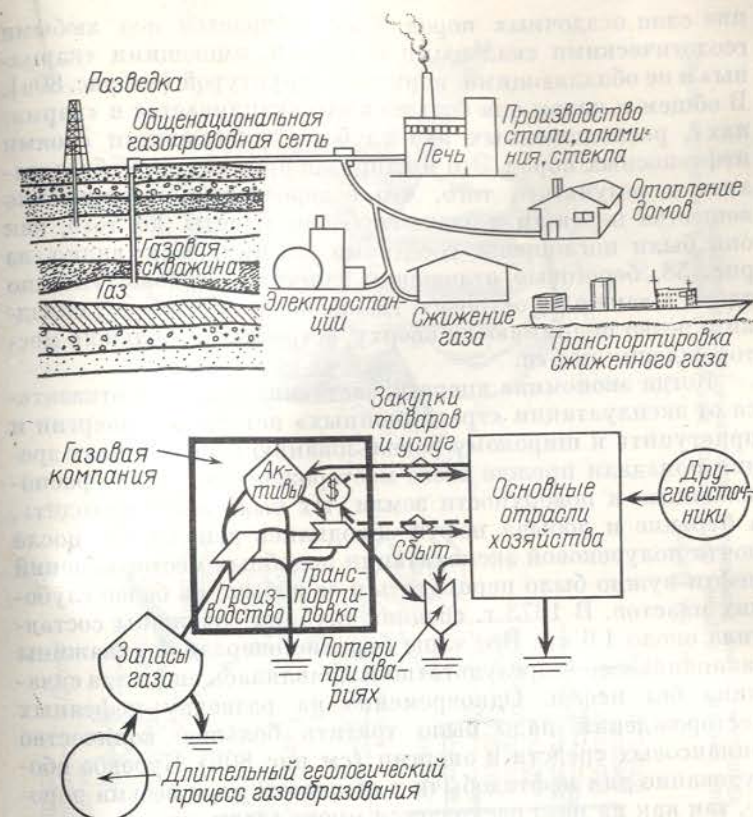


Рис. 79. Энергетические потоки при добыче природного газа.

виды топлива (например, некоторые сорта нефти). Изобретательность человека в поисках новых способов применения ранее открытого не имеет границ до тех пор, пока существует крупный источник энергии. Следует заметить, что искусственный газ, по-видимому, дает нам почти такое же количество энергии, что и богатые запасы природного газа, который в настоящее время преимущественно используется в экономике США.

Нефть

На рис. 80 приводятся схемы различных способов добычи нефти. Нефть, будучи легче воды, поднимается в верх-

ние слои осадочных пород. Она собирается под любыми геологическими скальными породами, имеющими «карманы» и не обладающими пористой структурой (см. рис. 80а). В общем и целом она больше всего скапливается в «карманах», расположенных над глубоко залегающими слоями нефтеносных пород. Это месторождения, которые образовались в результате того, что водорослевые органические вещества перешли в более глубокие пласты до того, как они были поглощены соседними слоями. Как видно из рис. 58, береговые отложения залегают глубоко. Именно здесь, а также на островах, где отложения образуют складки и резко поднимаются кверху, встречаются большие месторождения нефти.

Когда экономика впервые заставила человека отказаться от эксплуатации «традиционных» источников энергии и приступить к широкому использованию нефти, в поле зрения попадали прежде всего месторождения, близко расположенные к поверхности земли. Их было легче находить, а бурение и добыча нефти обходились дешево. Но после почти полувековой эксплуатации подобных месторождений нефти нужно было переходить к ее добыче из более глубоких пластов. В 1973 г. средняя глубина скважины составляла около 1,6 км. Все чаще бурение очередной скважины заканчивалось безрезультатно и появлялась еще одна скважина без нефти. Одновременно на разведку нефтяных месторождений надо было тратить большое количество финансовых средств и энергии (см. рис. 80b). Буровое оборудование для нефтедобычи в открытом море весьма дорого, так как на него расходуется много стали, для производства и обработки которой необходимо тратить значительное количество энергии (см. рис. 80c). Соленая вода вызывает коррозию, штормы наносят значительный ущерб оборудованию, а большое количество нефти вообще остается в земле из-за трудностей, связанных с проведением подводных работ. К 1970 г. большая часть той нефти, которую можно было относительно легко извлечь из залежей на территории США, была добыта. Однако богатые месторождения нефти, расположенные близко к поверхности, имеются в арабских странах, Иране, Венесуэле, Нигерии, Советском Союзе и некоторых других странах. Даже в ценах 1973 г. страны, покупающие нефть на Ближнем Востоке, располагали большими запасами полезной энергии.

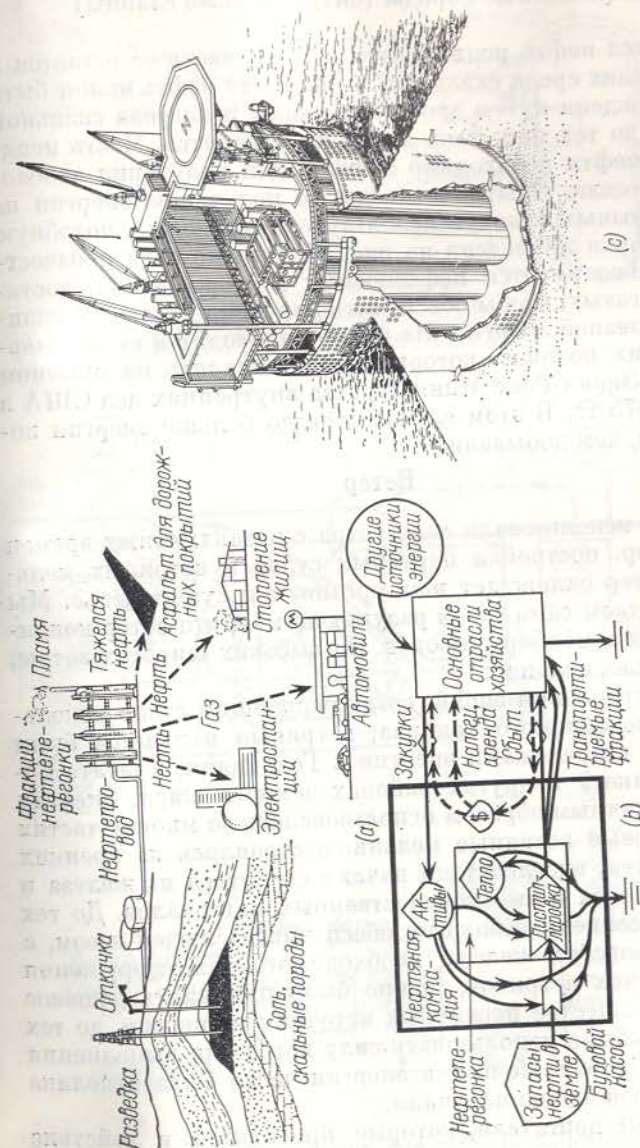


Рис. 80. Нефть. а) Добыча нефти. б) Энергетические потоки. в) Буровое оборудование для добычи нефти в открытом море; большие затраты при освоении труднодоступных источников высококачественной энергии.

Нефтеносные породы (битуминозные сланцы)

Не вся нефть поднимается наверх, часть ее остается в отложениях среди скальных трещин. Эта нефть может быть высвобождена путем дробления скалы и нагрева скальной породы до тех пор, пока нефть не испарится. Часть испаренной нефти необходимо сжигать для получения необходимого тепла. Опытные заводы по получению энергии из битуминозных сланцев используют технологию, подобную той, которая приведена на рис. 81. Однако пока неизвестно, сколько имеется нефтеносных месторождений, достаточно богатых, чтобы обеспечить получение больших количеств полезной энергии. На рис. 81 приводится схема энергетических потоков, которые использовались на опытном заводе в Энвил-Рокс Министерства внутренних дел США в 1945—1975 гг. В этом случае гораздо больше энергии потребляли, чем добывали.

Ветер

Люди использовали силу ветра с незапамятных времен (например, постройка парусных судов и ветряных мельниц). Ветер охлаждает наш организм и сушит белье. Мы часто считаем само собой разумеющимся, что ветер кондиционирует атмосферу городов. На высоких широтах ветры, как правило, сильнее.

До наступления эпохи, когда решающим стало использование ископаемого топлива, ветряные мельницы были главными источниками энергии в Голландии, в штате Северная Дакота и других районах земного шара. Энергия ветра различным образом использовалась во многих частях света. Первые ветряные мельницы строились из крепких пород дерева, впоследствии начали строиться из железа и других дорогих и высококачественных материалов. До тех пор, пока солнечная энергия обеспечивала людей лесом, а для производства железа, необходимого для сооружения электрических ветряков, можно было применять дешевое топливо в качестве первичных источников энергии, до тех пор можно было использовать силу ветра для выполнения различных работ. Полезная энергия часто была невелика или же ее вообще не получали.

Ветряные двигатели, которые приводятся в действие бризом и изготовление которых требует больших энергозатрат, мало перспективны. По мере того как стоимость дру-

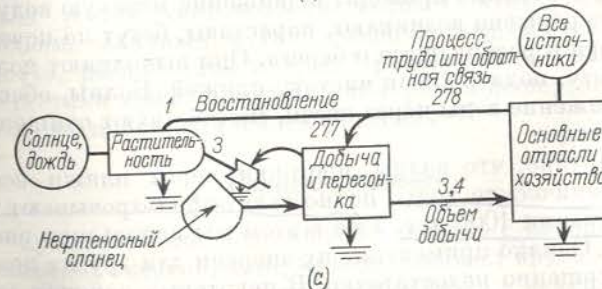
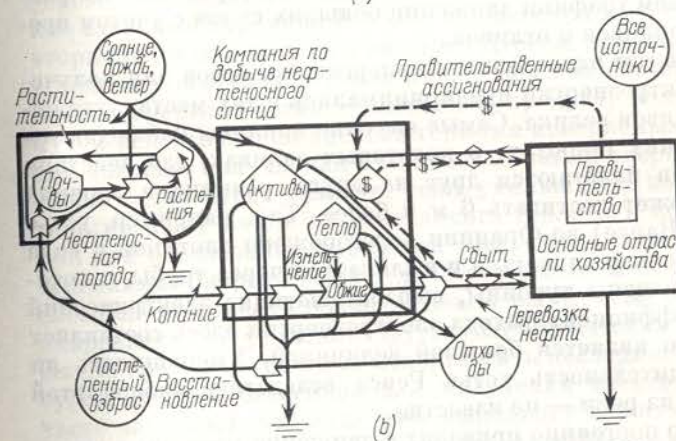
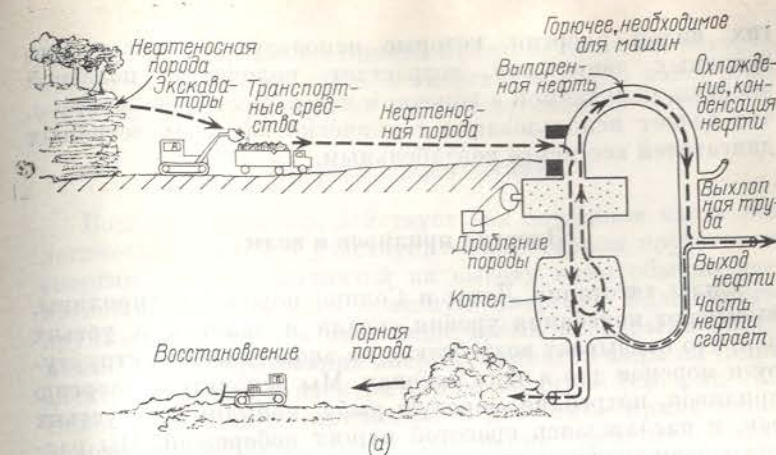


Рис. 81. Энергетические потоки при добыче нефтеносного сланца. а) Упрощенная схема добычи. б) Энергетические потоки. с) Итоговые величины энергетических потоков электростанции Энвил-Рокс в 1945—1975 гг. Числа на диаграмме представляют собой килокалории условного топлива, умноженные на 10^{10} .

гих видов энергии, которые используются при работе ветряных двигателей, возрастает, количество полезной энергии, получаемой в конечном итоге, будет уменьшаться, что делает использование технически сложных ветряных двигателей все менее рентабельным.

Энергия приливов и волн

Силы тяготения Луны и Солнца порождают приливы, вызывают колебания уровня океана в заливах и устьях рек, что оказывает воздействие на экологическую структуру и морское дно в этих районах. Мы используем энергию приливов, потребляя морскую рыбу, пойманную в устьях рек, и наслаждаясь красотой наших побережий. Мы рассчитываем графики движения больших судов с учетом времени приливов и отливов.

Попытки использования энергии приливов для получения электроэнергии предпринимались в тех местах, где сила приливов велика. Самые высокие приливы наблюдаются на средних широтах; в некоторых заливах, где действия приливов налагаются друг на друга, разница в уровнях воды может достигать 6 м и более. Так, например, устье Ренса (Rance) во Франции перегородено плотиной и вода может только вливаться и выливаться через трубы, в которые помещены турбины, вырабатывающие электрический ток. Коэффициент выхода электроэнергии здесь составляет 12%, что является большой величиной. Уменьшилась ли производительность устья Ренса вследствие забора этой энергии из реки — не известно.

Ветер постоянно приводит в движение морскую воду — волны непрерывно возникают, нарастают, бегут по поверхности моря и разбиваются о берега. Они выполняют полезную работу, поддерживая чистоту пляжей. Волны, обеспечивая движение воды через песок, способствуют очищению морской воды.

Подсчитано, что волны, прогоняя через пляжи всего мира океанические воды, полностью отфильтровывают их на протяжении 1000 лет. Уже в этом мы используем энергию волн. Однако применение их энергии для других целей пока совершенно недостаточно. В некоторых районах земного шара (например, островах) энергии морских волн достаточно для того, чтобы внести важный вклад в общий

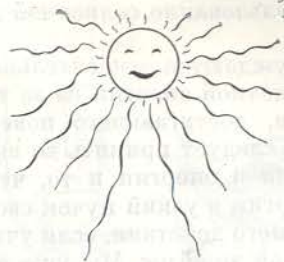
энергетический баланс. Однако полезная энергия, которую можно получить, преобразуя энергию морских волн, недостаточна для поддержания жизнедеятельности городов.

Энергия гидростанций

Вода, стекая с гор, действует как составная часть экологических систем и участвует в планетарном круговороте энергии. Энергия поднятой на высоту воды обычно дает возможность получить полезную энергию. Большинство крупных рек мира в настоящее время перекрыты плотинами для преобразования энергии поднятой воды на гидроэлектростанциях в электрическую энергию (см. рис. 82). Некогда сила воды приводила в движение примитивные деревянные водяные колеса; теперь она приводит в движение стальные турбины. В обоих случаях мы имеем дело со вторичными источниками энергии. Дерево, использованное в водяных колесах, выросло в лесу под воздействием солнечной энергии; сталь — дешевый продукт, получаемый путем использования энергии горючих ископаемых. Полезная энергия, получаемая при использовании энергии падающей воды, будет меньше, если уменьшится количество энергии, получаемой от ископаемого топлива и используемой для обеспечения населения товарами, услугами и материалами. Энергия воды отличается высоким качеством и способна выполнить большой объем работ, если она будет направлена на усиление других энергетических потоков. Люди, которые стремятся использовать последние гидроэнергетические ресурсы речных бассейнов для получения электроэнергии, часто забывают, что вода уже выполняет важную работу, давая жизнь сельскохозяйственным культурам, лесам, угольям, заливным лугам, создавая людям условия для отдыха, рыболовства и т. д. Чрезмерное развитие гидроэнергетики может привести к потерям той энергии, которая столь же ценна, как и электрическая.

Солнечная энергия

Существование человечества связано с использованием солнечной энергии, которая поддерживает круговорот атмосферы и морской воды, производит пищу и изменяет температуру в таком диапазоне, в котором люди могут жить. Первоначальное поглощение солнечного света преобразует



ОРИГИНАЛЬНАЯ СУШИЛКА БЕЛЬЯ!

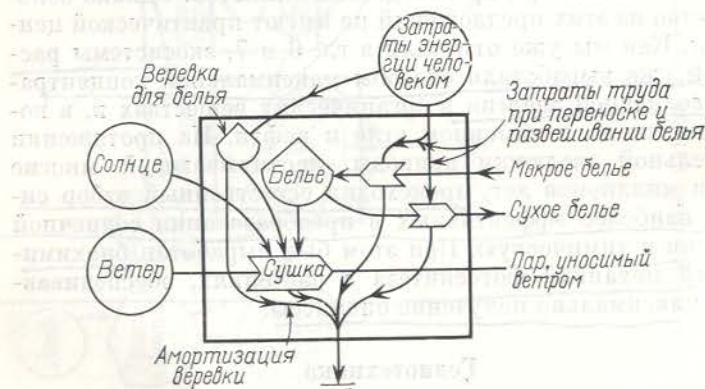


Рис. 83. Поток энергии, затрачиваемой при сушке белья.

мена было изобретено оконное стекло, позволяющее проникать солнечному свету в жилища людей. Эти способы применения энергии Солнца, однако, связаны со значительными затратами на стекло, пластик, трубы и изоляционные материалы. По мере того как все более ощущается нехватка энергии, необходимой для получения этих материалов, техника обогрева с помощью солнечной энергии становится все менее практичной. Другие приборы, такие, как отражатели, фотоэлементы, не обеспечивают прироста полезной энергии. В настоящее время весьма оживленно дискутируется вопрос о том, экономит ли гелиотехника энергию или растрчивает ее. В отличие от сельского хозяйства, где благодаря процессам фотосинтеза, осуществляемым различными растениями, солнечная энергия создает первые звенья пищевой цепи, гелиотехника использует энергию Солнца непосредственно¹.

На рис. 84 дается схема энергетических потоков, связанных с работой фотоэлементов. Работа слоя фотоэлементов, воспринимающих малые потоки света, требует больших затрат энергии, скрытой в тех видах ископаемого топлива, которые израсходованы на изготовление и эксплуатацию этого фотоэлемента. Отношение величины полезной используемой солнечной энергии к энергии, содержащейся в ископаемом топливе, затраченном на питание гелиооборудования, очень мало. По сути дела полезная энергия не вырабатывается; величина получаемой полезной энергии по сравнению с энергией, получаемой при сжигании ископаемого топлива, крайне мала. Преобразование энергии

¹ В гл. 6 нами была изложена теория, согласно которой энергия одного качества наиболее эффективна, когда она сочетается с энергией другого качества. Кроме того, была высказана мысль о том, что энергия одного качества легко вступает во взаимодействие с тем видом энергии, уровень концентрации которой не намного отличается от первого. Так, например, возможно, что прямое, без каких-либо промежуточных этапов взаимодействие высококачественной энергии минерального топлива с солнечной энергией не приведет к увеличению общего энергетического потока.

При подобном взаимодействии потоков энергии может теряться слишком много энергии. Система утилизации солнечной энергии, созданная природой, функционирует благодаря наличию промежуточных этапов — фотосинтезу, осуществляемому растениями. Использование солнечной энергии в современном сельском хозяйстве успешно именно потому, что оно осуществляется на базе фотосинтеза растений.

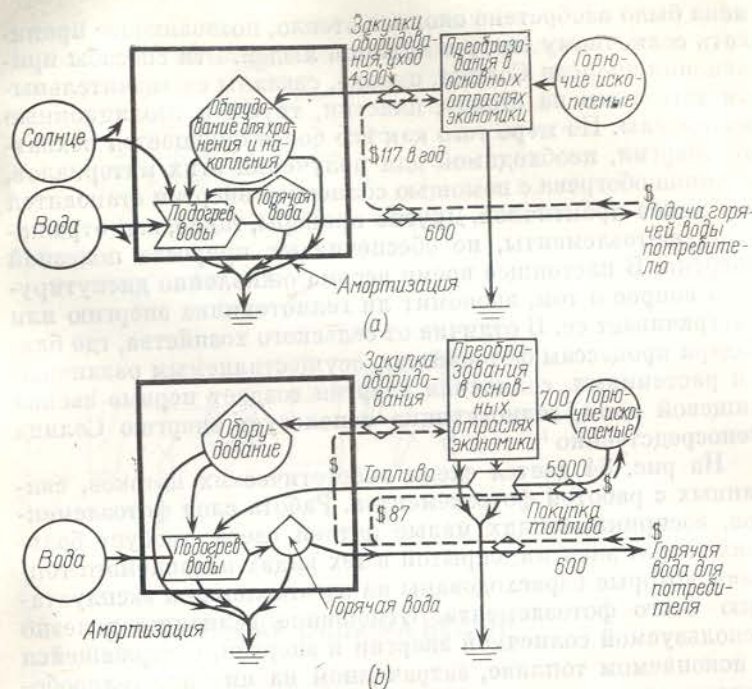


Рис. 84. Энергетические потоки при утилизации солнечной энергии (гелиотехника); сравнение:

а) водонагревателя, использующего солнечную энергию, и б) водонагревателя, работающего с использованием энергии минерального топлива (природного газа). Числа на диаграмме представляют собой тысячи килокалорий в год (в единицах условного топлива). В обеих установках косвенно используется энергия ископаемого топлива для эксплуатации оборудования. Солнечный водонагреватель требует сложного технического оборудования, но связан с меньшими затратами энергии ископаемого топлива. Водонагреватель, использующий энергию минерального топлива, требует менее дорогостоящего оборудования и меньших ресурсов энергии. Он подвержен меньшей амортизации, но требует закупок топлива.

горючих ископаемых в электроэнергию гораздо более эффективно осуществляется электростанциями, нежели фотоэлементами. Использование фотоэлементов оправдано для реализации специальных целей, в частности для управления и контроля, но не в качестве источников энергии.

Отопление домов и нагрев воды с помощью солнечной энергии косвенно связаны с большими затратами энергии минерального топлива, потребляемого соответствующими установками. Солнечные обогреватели давно нашли свое

применение там, где год насчитывает много солнечных дней. На рис. 84а и 84б показаны для сравнения установки для подогрева воды, использующие солнечную энергию и энергию минерального топлива.

Подобное применение солнечной энергии связано с выработкой тепловой энергии, низкой по своему качеству. В тех районах земного шара, где в году много солнечных дней, используя для подогрева воды солнечную энергию вместе с энергией минерального топлива, можно достичь экономии энергии по сравнению с затратами, связанными с работой электрических или газовых подогревателей воды. Однако солнечные подогреватели потребляют намного больше энергии ископаемого топлива, чем солнечной энергии (если сравнивать их в эквивалентных единицах условного топлива). В этом случае полезная энергия не вырабатывается. Начальные капиталовложения в денежном и энергетическом выражении велики; затраты окупают себя лишь после нескольких лет эксплуатации подогревателя. До сих пор не получено ответа на вопрос: нельзя ли достичь большей экономии энергии, если энергию ископаемого топлива комбинировать с энергией не солнечных подогревателей, а каких-либо иных устройств? Поскольку энергия, затрачиваемая на получение необходимых материалов, становится дороже, стоимость гелиотехнических сооружений также возрастает. Таким образом, можно сделать вывод, что использование гелиотехники позволяет найти те или иные способы консервации энергии, но она не в состоянии стать источником энергии, обеспечивающим всю экономику.

Ядерная энергия

Использование ядерной энергии осуществляется с помощью паро- и турбогенераторов, утилизирующих колоссальную концентрацию тепла, источником которого являются реакции деления ядер урана. Ядерные реакции высвобождают часть потенциальной энергии при расщеплении ядер некоторых радиоактивных веществ. Осуществление ядерных реакций требует больших затрат вторичной энергии, направляемой на функционирование механизмов обратной связи. Стоимость этих механизмов весьма высока, прежде всего при наступлении чрезвычайных обстоятельств, землетрясений и т. п. На протяжении почти тридцати лет получение ядерной энергии было связано с кос-

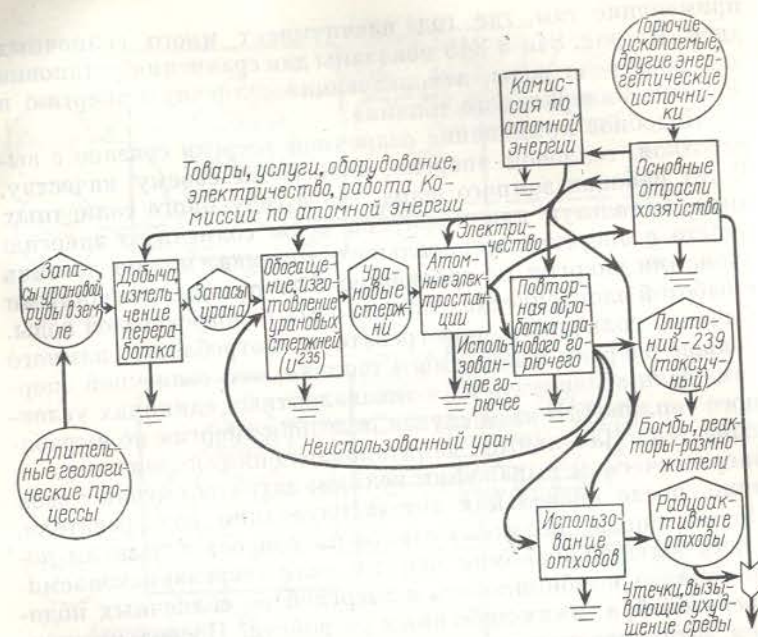


Рис. 85. Энергетические потоки, характеризующие работу атомной электростанции; следует обратить внимание на многочисленные обратные связи между атомной электростанцией и основными отраслями экономики.

венным использованием энергии минерального топлива. Но сколь бы дороги ни были ядерные установки и процессы, они были бы гораздо дороже, если бы все оборудование атомных электростанций и их обслуживание не базировалось бы на использовании энергии этих видов дешевого топлива. За эти годы на АЭС было получено большое количество электроэнергии, проведены различные исследования и построены реакторы различных типов; правительство США ассигновало большие средства на работу Комиссии по атомной энергии. На рис. 85 представлена упрощенная схема энергетических потоков, связанных с получением ядерной энергии и некоторые методы утилизации при этом энергии минерального топлива. В конечном счете вырабатывается полезная энергия, однако стоимость энергии, затрачиваемой на получение ядерной энергии в приемлемой

для производства форме, весьма высока. Правда, точную оценку этой стоимости дать пока еще трудно. Отдача энергии по сравнению с затрачиваемой энергией не так велика, как при использовании энергии из других источников; по некоторым расчетам на 1 Калорию затраченной энергии можно получить 2,7 Калории. Использование энергии минерального топлива в этом отношении более эффективно.

Существует несколько видов ядерных процессов, которые следует рассмотреть с точки зрения перспектив развития атомной энергетики. Некоторые из них уже нашли свое техническое использование, другие — пока нет, но в будущем могут дать большое количество энергии. Правда, никто не может сказать, сколько именно, до тех пор пока разработка этих новых технологических процессов, использующих атомное горючее, не продвинется достаточно далеко.

Атомные электростанции (АЭС)

В 1973 г. в США работало 50 атомных электростанций и еще 50 строилось. На этих станциях использовалась реакция деления атомного ядра; принцип работы подобных станций показан на рис. 86а. Ядерная реакция, называемая реакцией деления, происходит тогда, когда ядро урана, находящегося в ядерном реакторе, приходит в возбужденное состояние. В ходе реакции деления ядра высвобождается громадное количество тепла очень высокой температуры. Аналогичный процесс имеет место при взрыве атомной бомбы: цепная реакция приводит к возрастанию в геометрической прогрессии числа нейтронов. На атомных электростанциях эта реакция протекает, однако, замедленно, под контролем человека. Тепло, выделяемое в реакторе, снимается циркулирующей водой и отводится в парогенератор (теплообменник).

Пар приводит в действие традиционным способом турбогенераторы электростанции (см. рис. 54). Избыток тепла отводится с помощью воды, поступающей извне. Отдача тепла этой водой представляет собой чистые тепловые потери; охлаждение этой воды порой связано с дополнительными издержками. Радиоактивное излучение имеет место лишь в тепловыделяющем элементе реактора, хотя оно иногда и проникает в парогенератор. Защита от радиоактивного излучения обходится дорого, что снижает величину получаемой полезной энергии. Если бы 100 электростанций

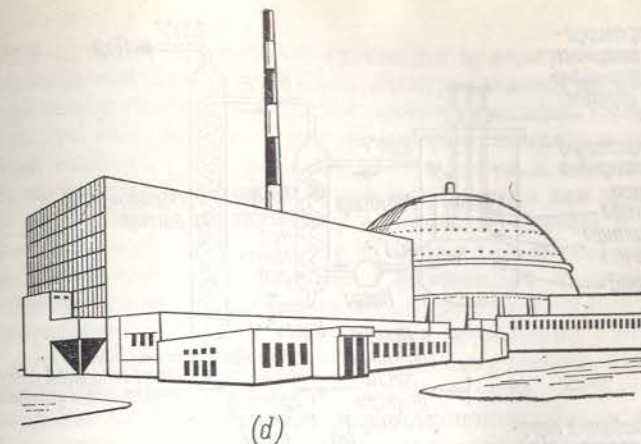
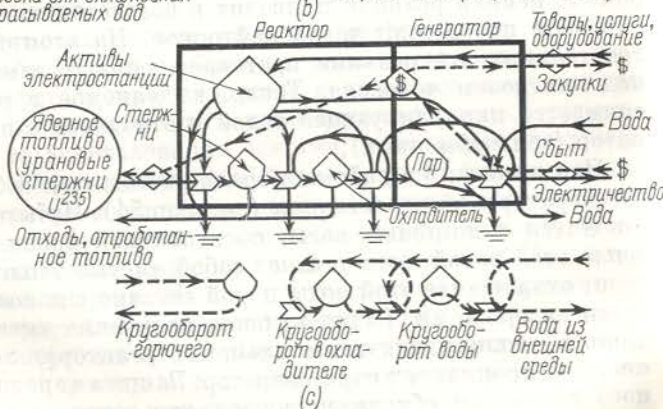
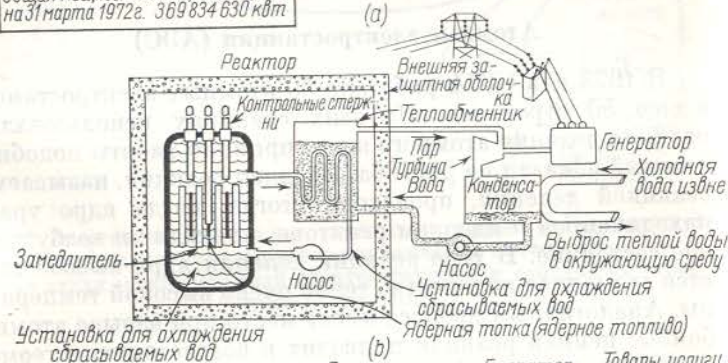
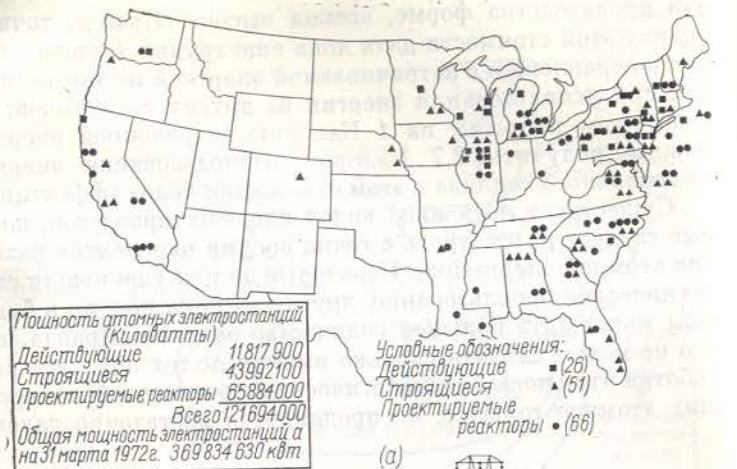


Рис. 86. Атомные электростанции, использующие реакцию деления урана.

а) Ядерные реакторы в США в 1972 г. б) Ядерный реактор обычного типа, использующий реакцию деления ядра, в) Энергетические потоки в ядерном реакторе, использующем реакцию деления ядра. д) Атомная электростанция.

работали исправно на протяжении всего положенного им срока — 35—45 лет, то отношение полученной полезной энергии к затраченной составило бы 2,7:1, не считая затрат на дезактивацию отходов или на возмещение ущерба при неожиданных авариях. Эти расходы в последнем случае могут превысить стоимость всей полезной энергии. Реакция деления урана не может считаться постоянным источником энергии, поскольку запасы урана ограничены.

Реакторы-размножители

Реакторы-размножители (см. рис. 87) устроены так, что начальная ядерная реакция вызывает вторичные реакции, создающие дополнительное атомное топливо. Ядерная реакция одного типа вызывает реакцию другого типа, при которой создается больше тепла. Вследствие того, что реакция порождает ядерное топливо, отличающееся от исходного, эта реакция называется реакцией размножения*.

* Реактор, в котором это происходит, называется реактором с расширенным воспроизводством ядерного топлива (бриддер). — Прим. ред.

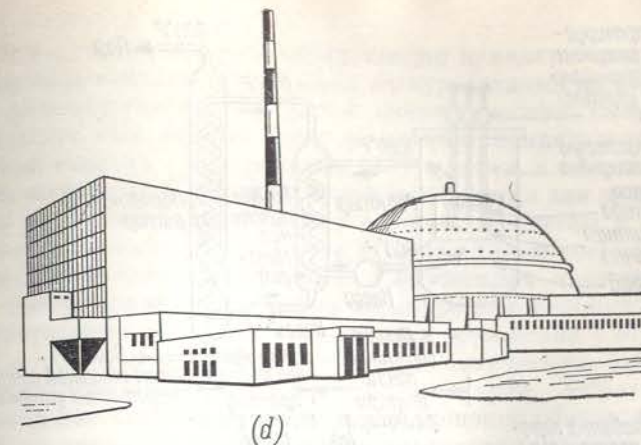
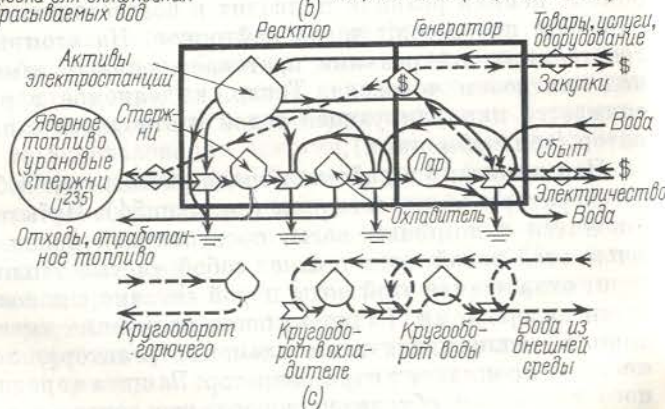
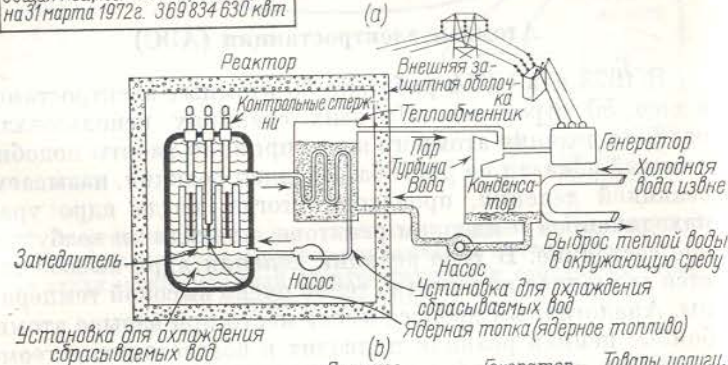
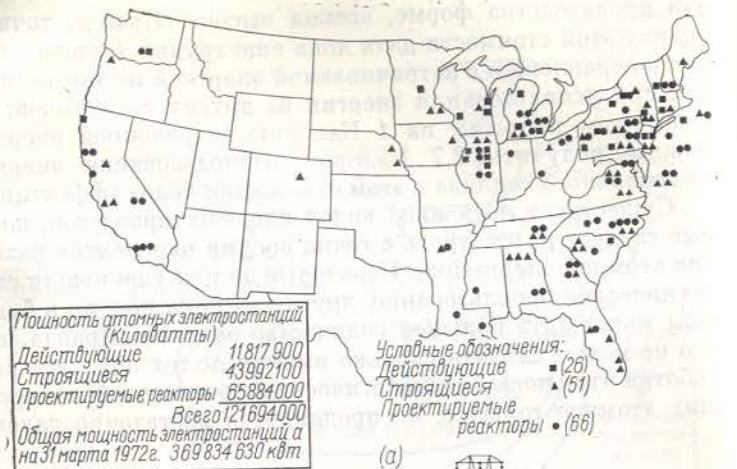


Рис. 86. Атомные электростанции, использующие реакцию деления урана.

а) Ядерные реакторы в США в 1972 г. б) Ядерный реактор обычного типа, использующий реакцию деления ядра, в) Энергетические потоки в ядерном реакторе, использующем реакцию деления ядра. д) Атомная электростанция.

работали исправно на протяжении всего положенного им срока — 35—45 лет, то отношение полученной полезной энергии к затраченной составило бы 2,7:1, не считая затрат на дезактивацию отходов или на возмещение ущерба при неожиданных авариях. Эти расходы в последнем случае могут превысить стоимость всей полезной энергии. Реакция деления урана не может считаться постоянным источником энергии, поскольку запасы урана ограничены.

Реакторы-размножители

Реакторы-размножители (см. рис. 87) устроены так, что начальная ядерная реакция вызывает вторичные реакции, создающие дополнительное атомное топливо. Ядерная реакция одного типа вызывает реакцию другого типа, при которой создается больше тепла. Вследствие того, что реакция порождает ядерное топливо, отличающееся от исходного, эта реакция называется реакцией размножения*.

* Реактор, в котором это происходит, называется реактором с расширенным воспроизводством ядерного топлива (бриддер). — Прим. ред.

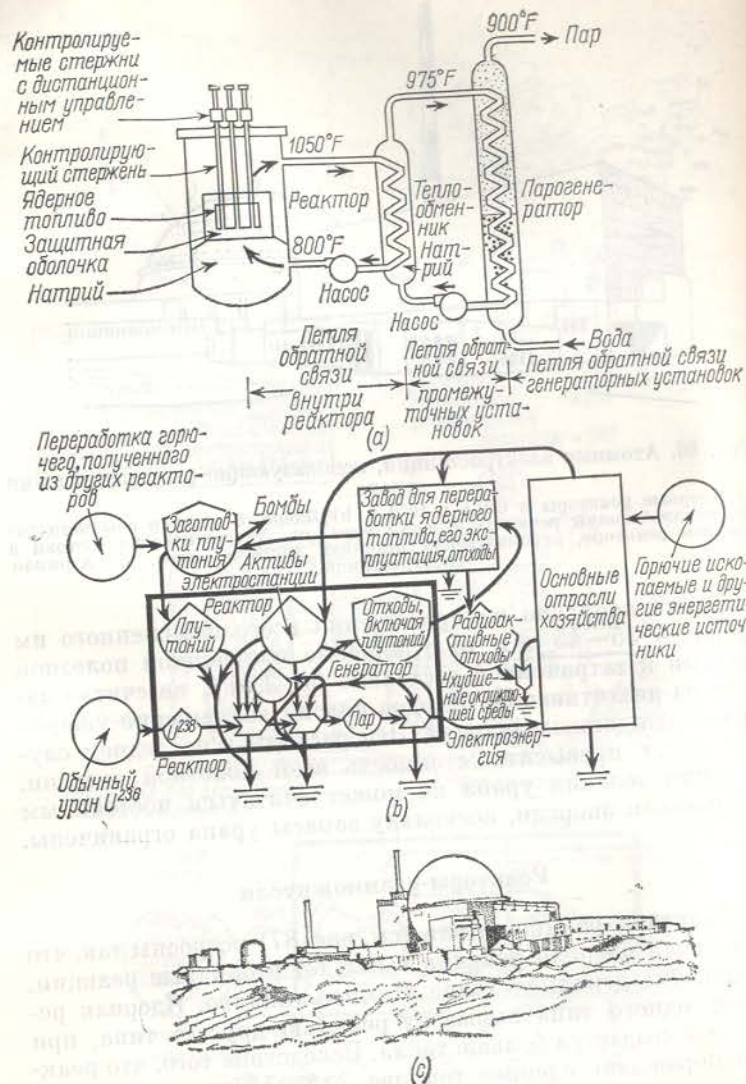


Рис. 87.

а) Реактор-размножитель, использующий жидкий расплавленный натрий и установку для переработки ядерного топлива, необходимую для завершения технологического цикла реактора-размножителя. б) Энергетические потоки в реакторе-размножителе и предлагаемые процессы рециркуляции. В результате излучения плутония получается больше плутония из обычного урана. в) Реактор-размножитель.

В настоящее время в эксплуатации находятся несколько экспериментальных атомных электростанций на реакторах-размножителях, но, какой энергетический выигрыш они дадут, еще не ясно. Одна из причин неопределенности оценок связана с издержками (в денежном и энергетическом выражении), которые будут необходимы для длительного хранения радиоактивных отходов. Процессы в реакторах-размножителях связаны с образованием весьма ядовитого вещества — плутония. Повышенная токсичность его требует принимать особые меры предосторожности при эксплуатации подобных станций, при обращении с отходами, а также при проведении профилактических работ и ликвидации аварийных работ и перемещение оборудования АЭС из данного района в другой значительно снизят величину полезной энергии, которую надеются получить сторонники бриддеров. Повторные этапы в этом энергетическом цикле оказываются чересчур дорогими, и ни одна АЭС такого типа, как оказалось, не работает с достаточной эффективностью.

На испытания реакторов-размножителей в настоящее время в США и за рубежом расходуются большие средства.

Реакция синтеза

Взрыв водородной бомбы связан с другим типом ядерной реакции, называемой реакцией синтеза. Заветная цель многих энтузиастов ядерной энергии — утилизировать энергию реакции синтеза в мирных целях. Поскольку масса Солнца настолько велика, что частицы горячего газа удерживаются достаточно близко друг к другу, на Солнце создаются условия для протекания реакции синтеза, в результате которой выделяется ядерная энергия образования атомов водорода (рис. 88). На Земле силы тяготения недостаточны, чтобы эта реакция протекала устойчиво; здесь она приводит к взрыву, который можно наблюдать при испытании водородных бомб. В настоящее время ведутся различные исследования, цель которых — найти способы удержания плазмы. Это требует больших затрат дополнительной энергии (см. рис. 88 с). Температура плазмы столь высока, что стенки любого сосуда, в котором проводится эксперимент, плавятся.

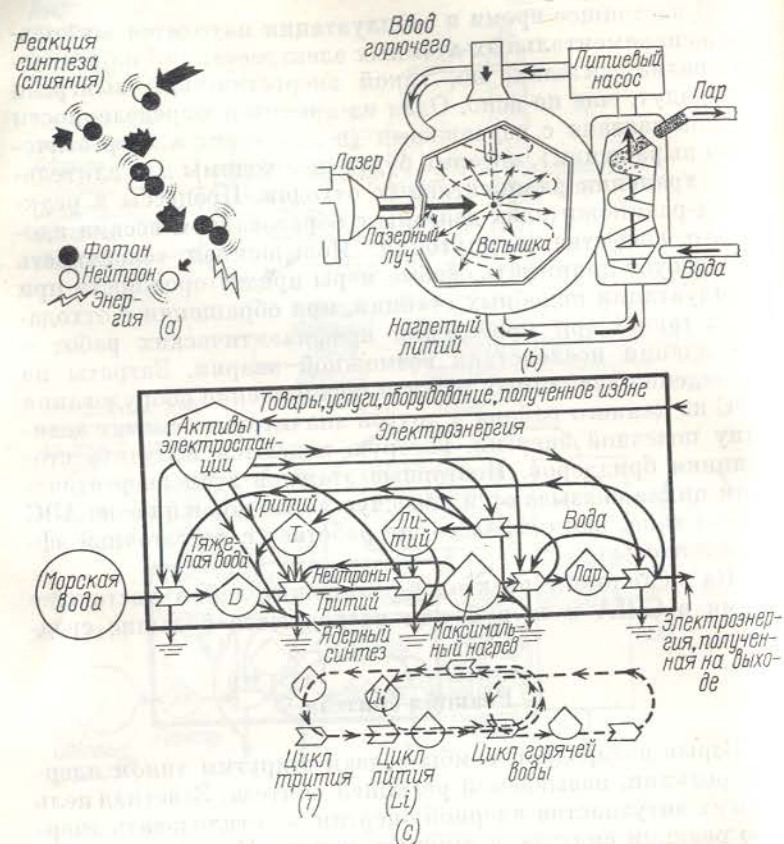


Рис. 88. Для определения того, можно ли получить полезную энергию при реакции синтеза, необходимо оценить соответствующие энергетические потоки. а) Реакция синтеза. б) Реакция синтеза с использованием лазеров. в) Энергетическая диаграмма реакции синтеза.

Предпринимаются попытки осуществить реакцию синтеза с помощью лучей лазера (рис. 88б), гигантских магнитов (рис. 88д) и других технических средств. Пока все испробованные методы оказались довольно сложными и дорогостоящими. Можно предположить, что издержки энергии, необходимой для поддержания реакции синтеза, могут оказаться выше, чем выделяемая при этом энергия. Если

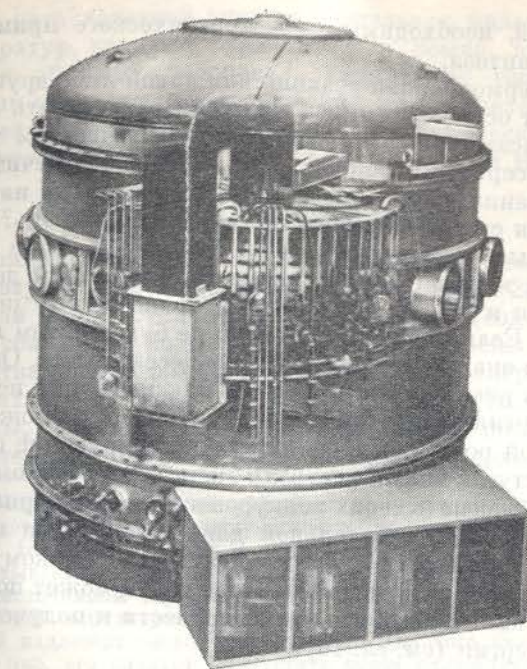


Рис. 88д. Аппаратура для реакции синтеза с использованием магнитов. Это большое и дорогостоящее лабораторное оборудование типа Токомак используется для экспериментального исследования реакции синтеза. Здесь применяются гигантские кольцевые магниты для удержания плазмы, высота которых около 5,4 м. Если экспериментальное оборудование является таким громоздким и дорогостоящим, то приведет ли строительство АЭС к производству полезной энергии? «Национальная лаборатория Оук — Ридж, шт. Теннесси, подчинена Управлению по исследованию и разработкам в области энергетики США»).

реакция синтеза даст полезную энергию, то появятся практически неиссякаемые источники энергии, так как в качестве топлива здесь будут использоваться такие широко распространенные вещества, как вода. Однако для реализации подобных реакций необходим ряд редких элементов, например литий. Конечно, трудно показать на схеме процесс получения энергии, который еще на Земле практически не реализован; но рисунок все же поможет представить величину затрат энергии, денег и вспомогательных

материалов, необходимых для практического применения реакции синтеза.

Если термоядерная реакция или какой-либо другой процесс будут осуществлены и мы будем располагать громадными запасами энергии, то перед человечеством встанет еще более серьезный вопрос: сумеет ли оно обеспечить такое регулирование жизни биосферы, которое бы не нарушало равновесия систем, поддерживающих нашу жизнь? Огромные запасы новой энергии вызовут к жизни такие громадные силы, которые смогут привести к глубоким деформациям суши и морей и заставить человечество покинуть планету¹. Если получение энергии не будет ничем лимитировано, не окажется и пределов процессам роста. Обратимся вновь к рис. 24 а. Из принципа максимизации использования энергии следует, что ни одна система не может останавливать свой рост и выжить, если конкурирующие системы имеют доступ к новым ресурсам энергии, ибо в этом случае они могут обогнать своих конкурентов. Термоядерная реакция может стать губительной для человечества по двум причинам: во-первых, она может дать ему слишком громадное количество энергии, и, во-вторых, она может поглотить все наши капиталы и все же не привести к получению полезной энергии (см. гл. 16).

Геотермальная энергия

Процессы, происходящие в земной атмосфере, океане и земной коре, как отмечалось в гл. 8, обусловлены тепловой энергией, возникающей из-за перепадов температур. Большая часть процессов в природе протекает при малых перепадах температур. И лишь в отдельных случаях — например, в процессах горообразования, развиваются высокие температуры. Люди используют геотермальную энергию для приведения в действие тепловых двигателей, но последние работают лишь при большей разности температур, чем та, которая развивается в ходе долговременных обычных природных процессов. Наши тепловые двигатели не

¹ Авторы недооценивают широкие возможности использования атомной энергии. Атомная энергетика будет играть огромную роль в улучшении жизни на Земле. Вывод авторов о разрушительном влиянии атомной энергетики на окружающую среду ничем не обосновывается. С точки зрения вредного влияния на природу атомные электростанции ничем не хуже, а в некоторых отношениях даже лучше обычных тепловых электростанций. — *Прим. ред.*

могут дать полезной энергии, используя малые перепады температур, которые существуют в Земле, атмосфере и воде в обычных условиях¹. Утилизация геотермальной энергии оказалась экономически целесообразной лишь в районах действующих вулканов: вулканический пар используется в Калифорнии, Новой Зеландии и Исландии.

Энергия чистой воды

Помимо потенциальной энергии поднятой воды, которая используется гидроэлектростанциями (стр. 253), чистая пресная вода в отличие от морской воды (содержащей до 3,5% соли) или воды, в которой растворены различные вещества, также обладает потенциальной энергией. В тех случаях, когда вода используется для стирки грязной одежды, удаления отходов, возникающих в различных технологических процессах или вымывания солей из почвы

¹ Тепловые двигатели работают на принципе использования перепадов температур между источником энергии и окружающей средой. На электростанциях источником энергии служит тепло, вырабатываемое в паровом котле, на атомных электростанциях таким источником служит реакция деления ядра. В работе электростанций используется перепад температур пара и воды, из которой надлежит снова получить пар. Для того чтобы конденсировать пар, его следует пропустить через охлаждающий змеевик с таким расчетом, чтобы тепло рассеивалось в окружающую среду (охлаждение достигается циркуляцией речной воды или воздушных потоков). В результате происходит нагревание окружающей среды. Выделяемое в нее тепло может оказать отрицательное воздействие на экологические системы, не адаптировавшиеся к данной температуре. При наличии воды ее использование для охлаждения обходится дешевле с точки зрения затрат на производство в некоторых отраслях экономики, обеспечивающих товарами и услугами, нежели использование градиент с воздушной тягой.

Часто спрашивают: почему какая-то часть тепла должна рассеиваться в окружающую среду, если тепло есть энергия? Не является ли данное рассеяние тепла неоправданной потерей, вызываемой плохой конструкцией оборудования? На этот вопрос следует ответить, что при малых перепадах температур полезная энергия не создается. Когда разность температур циркулирующей воды и окружающей среды падает ниже -10°C или еще ниже, то стоимость энергии, выраженная в стоимости оборудования, товаров и услуг для получения дополнительной энергии, необходимой для ее производства, больше, чем стоимость вновь полученной энергии. Другими словами, при эксплуатации электростанций малые перепады температур не дают приращения полезной энергии. Окружающая среда с циркуляцией воды или воздуха преобразует эти перепады температур в энергию водных течений и ветра, которую мы используем.

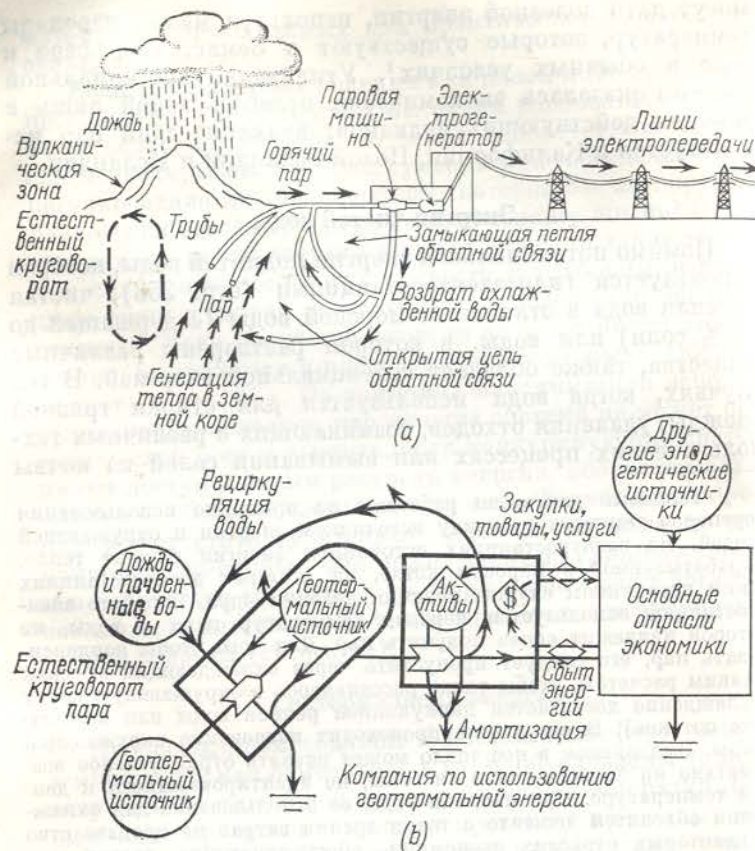


Рис. 89.

а) Геотермальная энергия. Показана циркуляция воды по открытому и замкнутому контурам. б) Энергетические потоки.

пустыни, чистая вода является источником энергии¹. После того как вода растворила соли и другие вещества, она уже утратила свою чистоту, а вместе с ней и часть энергии. Когда пресная вода достигает моря, разность между ее

¹ Потенциальная энергия, вызванная разностью концентрации солевых растворов в Калориях выражается формулой $\Delta F = RT \ln (C_2/C_1)$, где ΔF — энергия на один моль, R — газовая константа, T — температура в градусах Кельвина и C_2 и C_1 — концентрации солевых растворов до и после использования энергии. \ln — натуральный логарифм. Качество энергии в этом случае в три раза выше, чем качество энергии ископаемого топлива.

энергией и энергией соленой воды порождает течения в устьях рек, оказывает геологическое воздействие на речные отложения и управляет экологическими процессами в зоне смешанных вод.

Энергия чистой воды довольно значительна также в местностях с невысокими горами; например, в штате Флорида энергия чистой дождевой воды выше энергии подня-

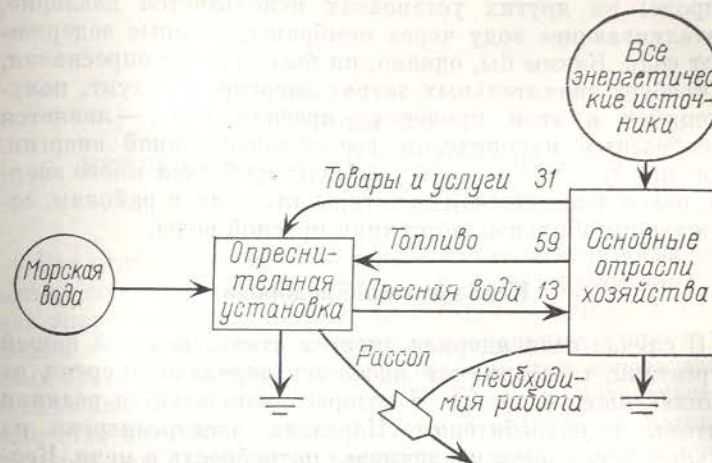


Рис. 90. Энергетические потоки, необходимые для опреснения 1000 галлонов морской воды. Числа на схеме представляют собой тысячи калорий условного топлива.

той воды. Мы давно используем энергию чистой воды тем или иным способом, считая это делом само собою разумным. Проводились опыты, правда, в небольших масштабах, по использованию этой энергии для производства электрической энергии. Поскольку мы уже эксплуатируем этот источник энергии в нашей экономике (хотя мы часто и не называем это энергией), любая разработка действующего оборудования для этой цели отвлекает энергию из ведущих отраслей производства.

Энергия чистой воды относится к высококачественным видам энергии. Люди нуждаются в пресной воде и там, где ее не хватает, мы должны использовать другие источники энергии для того, чтобы добывать ее из морской воды.

Пресная вода возникает в природе благодаря солнечной энергии, которая испаряет морскую воду и, являясь дви-

жущейся силой механизмов погоды, вызывает дождевые осадки. Схемы этих процессов были даны в гл. 8. Пресную воду получают из морской воды на специальных опреснительных установках, используя другие источники энергии, которые выполняют ту же работу, что и Солнце (см. рис. 90). На некоторых промышленных установках испарение и конденсация воды происходит так же, как в самой природе; на других установках используется давление, проталкивающее воду через мембраны, которые задерживают соль. Каким бы, однако, ни был процесс опреснения, он требует значительных затрат энергии. Продукт, получающийся в этом процессе — пресная вода, — является своеобразным накопителем высококачественной энергии. В связи с тем, что для очистки воды требуется много энергии, очаги человеческой культуры тяготели к районам, сохранившим обильные источники пресной воды.

Использование водорода

В случае если ядерная энергия станет основой нашей энергетики, то возникнет проблема передачи энергии от комплексных установок, в которых используется реакция синтеза, к потребителям. Передача электроэнергии на большие расстояния увеличивает потребность в меди. Кроме того, получение высококачественной электроэнергии не всегда приносило бы пользу. Действительно, не для всех производственных процессов необходима электроэнергия (представьте, например, трактор с электродвигателем и длинным проводом).

Одна из возможностей роста энергии заключается в получении водорода из воды, используя термоядерную энергию, и распределение водорода по газопроводам. При сгорании водород, составляющий главную компоненту природного газа, дает пламя весьма высокой температуры. Автомобили и грузовики могут приводиться в движение, используя энергию сжатого водорода. Но водород — источник высококачественной энергии, и применять его не всегда целесообразно. По сути дела эта идея относится не к новому источнику энергии, а, скорее, к средству ее распределения, если в будущем в нашем распоряжении окажутся богатые источники энергии, для получения которой потребуются гигантские централизованные промышленные предприятия.

Глава 12

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОТОКИ

Все отдельные регионы нашей планеты взаимосвязаны между собой, поскольку биосфера функционирует как единая энергетическая система. Как было отмечено в гл. 8, жизнь людей на Земле зависит от глобальных энергетических систем — океанов, атмосферы — и круговорота энергетических потоков на Земле. В XX в. в человеческом обществе возникли мировые системы экономики, которые находят свое выражение в международных экономических отношениях, международных корпорациях, в равновесии их военной мощи, в глобальной сети передачи информации (с помощью, например, радио, телевидения и газет) и в целенаправленной деятельности таких международных организаций, как ООН. Все системы, функционирование которых обеспечивается мировыми энергоресурсами, в свою очередь оказывают обратное влияние на эксплуатацию этих источников энергии. Вследствие того, что энергетические потоки интернациональны, судьба отдельных стран, штатов и городов зависит от судеб мира в целом. Многие факторы, влияющие на жизнь отдельно взятого человека, связаны непосредственно с тенденциями развития мировой энергетики: энергетические системы могут, например, вызывать значительные изменения в экономике и даже войны. Анализ международных потоков энергии помогает нам уяснить зависимость существования одной какой-то страны от существования других стран. Энергетический анализ открывает возможность прогнозирования развития экономики, позволяет уменьшить опасность войны и сократить

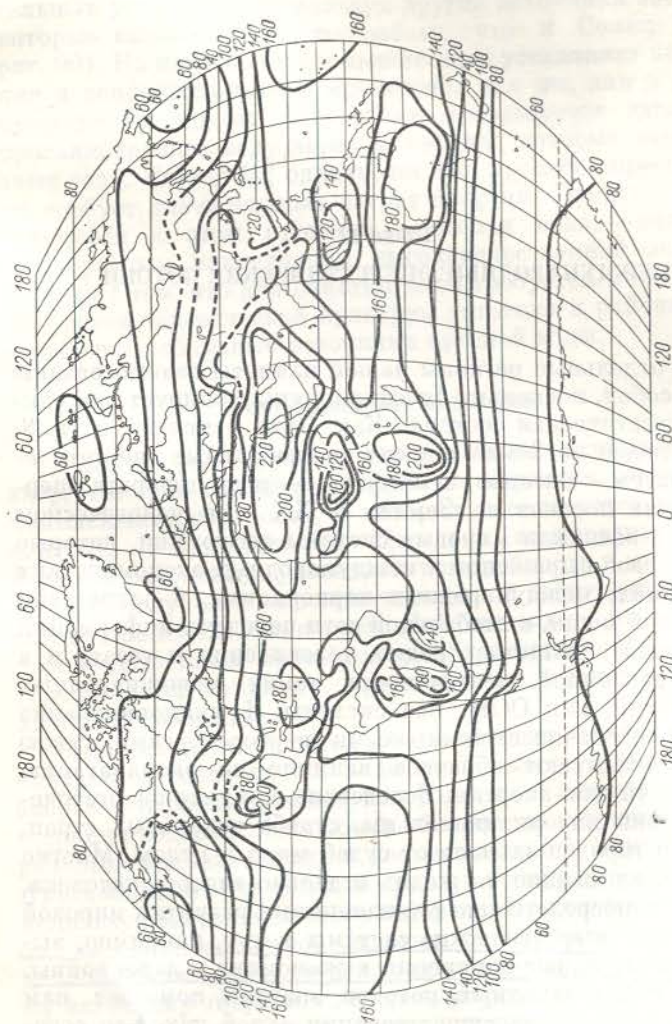


Рис. 91. Распределение солнечной энергии на земном шаре. На карте представлены среднегодовые величины солнечного излучения на горизонтальные участки поверхности земли. Числа представляют собой килокалории на 1 кв. см в год.

бесполезные расходы на вооружение. Анализ регулирующего воздействия энергии на международные отношения, очевидно, лучше всего начать с изучения распределения источников энергии среди стран всего мира.

Распределение энергии

Как мы видели в гл. 11, люди в наши дни получают одну часть необходимой им энергии, добывая полезные ископаемые, а другую — используя солнечную энергию и ее вторичные потоки — энергию атмосферы и воды (см. рис. 77). Схема распределения солнечной энергии на Земле в общих чертах приведена на рис. 91. В течение года тропические и субтропические районы получают в два раза больше солнечной энергии, чем районы, расположенные в полярных и средних широтах. Это объясняется в основном тем, что в тропиках и субтропиках солнце греет круглый год, в то время как в районах, близких к полюсам, с приходом зимы наступает полярная ночь.

Ветры, возникающие из-за перепадов температур, достигают наибольшей силы на средних широтах. Из-за особенностей гидрологического цикла, обусловливаемого солнечной активностью, большая часть осадков выпадает в среднелинотном поясе грозовых фронтов (см. рис. 55) и вдоль экватора, где встречаются тропические ветры двух полушарий. Преобразование энергии в биомассу растений наиболее продуктивно в тех районах, где сочетается щедрое солнце, обильные осадки и благоприятные почвенные условия (см. рис. 92).

Распределение запасов ископаемого топлива по странам показано на рис. 93. Советский Союз и страны Ближнего Востока обладают запасами нефти, которые позволяют им занимать доминирующее положение среди нефтедобывающих стран в течение двадцати или более лет, т. е. до тех пор, пока эти запасы не истощатся. Наибольшими запасами урановой руды обладают западные штаты США, Канада, Швеция, Испания, Южная Африка (в порядке убывания запасов). Из общих мировых запасов урана, оцениваемых в 2 млн. тонн, на долю США приходится около 67%.

Региональная специализация

Одни регионы земного шара получают много солнечной энергии. Другие обладают большими запасами энергии в форме месторождений ископаемого топлива. Географиче-

ское положение третьих позволяет им использовать вторичные потоки энергии, такие, как энергию сильных ветров, рек и мигрирующих популяций рыб. Специализация различных районов земного шара происходит в соответствии с местными условиями. В каждом из этих специализированных районов люди развивают определенный тип культуры и экономической деятельности, тот, который наиболее продуктивен. Делая упор на эксплуатацию своих наиболее эффективных источников энергии, конкретная страна или регион могут наилучшим образом использовать свои возможности для закупок дополнительной энергии и изделий.

В предыдущих главах уже высказывалась мысль о том, что при взаимодействии потоков энергии высокого качества, которую извлекают из редко встречающихся веществ, воды и горючих ископаемых, с солнечной энергией, более низкой по своему качеству, можно получить большой эффект, чем при изолированном использовании каждого типа энергии (рис. 30). Каждый отдельно взятый регион земного шара использует свою собственную комбинацию потоков энергии. По этой причине в этих регионах развиваются различные типы взаимосвязи энергопотоков, цель которых обеспечить максимальную производительность промышленности, сосредоточенной в городах, и продуктивность сельского хозяйства. Можно предположить, что регионы, в которых наблюдаются схожие комбинации энергетических потоков, обладают близкими системами использования энергии. Можно ожидать того же и в развитии культуры в этих районах, в занятиях населения и торговле. Так, народы, населяющие арктические районы, имеют сходный образ жизни, приспособленный к сезонным изменениям климатических условий. Культуры, вначале отличающиеся друг от друга, сближаются по мере сближения их энергетического базиса, развитие которого идет от региональной специализации к единому базису современного мира, основанному на использовании энергии минерального топлива.

Нередко эксперты рекомендуют заимствовать методы производства, характерные для какой-то страны, в экономике другой страны, рассматривая эти методы в отрыве от всей системы энергетических взаимосвязей. Но вряд ли методы производства, эффективные в одной энергетической ситуации, можно использовать в совершенно иных в энер-

гетическом отношении условиях. Например, высокие урожаи, получаемые в стране, где в сельском хозяйстве эффективно используется энергия минерального топлива, могут быть не получены в стране, не располагающей необходимыми запасами полезных ископаемых. Очевидно, что жилые постройки в районах пустыни будут отличаться от жилищ, строящихся в тропических районах, изобилующих ливневыми дождями.

Иногда все страны мира делят на группы в соответствии с наиболее употребительными пищевыми продуктами:

1. Группа потребителей зерновых. К этой группе относятся страны, которые расположены в районах с сезонными изменениями климата (в районах средних широт и муссонов) и население которых предпочитает выращивать пшеницу, кукурузу или рис.

2. Группа потребителей корнеплодов (к корнеплодам относятся сладкий картофель, маниок и таро). Страны, принадлежащие к этой группе, расположены в районах, где климат менее изменчив и где люди культивируют в основном растения, которые запасают питательные вещества в форме корнеплодов.

Обе эти группы, потребляющие зерновые культуры и корнеплоды, потребляют незначительное количество мяса, только то минимальное количество, которое необходимо для сбалансированного рациона питания.

3. Группа потребителей мяса. В эту группу входят страны, население которых питается мясом мигрирующих животных, живущих на суше или в море. К этой группе относятся, например, эскимосы и скотоводческие племена Африки. Сюда же входят страны с развитой экономикой, использующие энергию полезных ископаемых, направляя ее в том числе на интенсификацию сельского хозяйства. Мясо — источник энергии более высокого качества. Население этих стран потребляет количество мяса, которое выше минимума, необходимого для поддержания физических сил человека.

Классификация стран по уровню развития энергетики

Страны мира можно распределить по четырем группам в зависимости от величины запасов энергии в виде топлива, а также размеров и качества существующих активов (см. рис. 94). Как видно из рис. 94, при определении

промышленного потенциала страны следует учитывать количество солнечной энергии. Большинство стран располагают значительными количествами солнечной энергии, необходимой для взаимодействия с высококачественными видами энергии (топливо и вновь полученные активы).

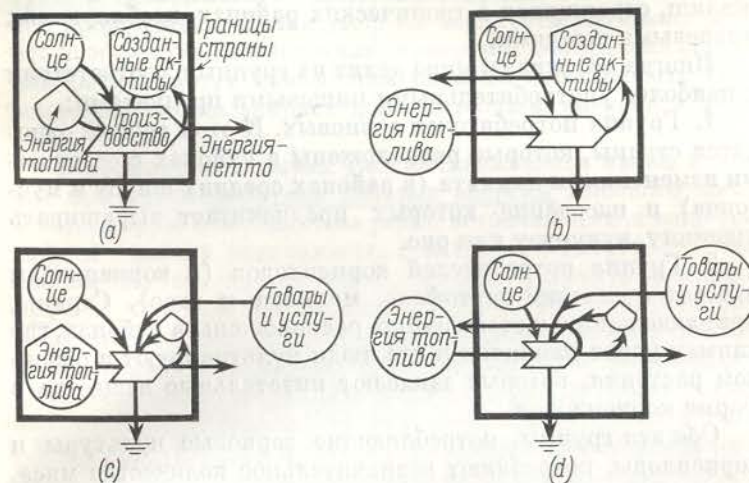


Рис. 94. Распределение стран по типам источников энергии (находящихся в пределах их территории или вне ее) и накопленным активам, предназначенным для производства.

- а) Страны, располагающие собственными активами и ресурсами ископаемого топлива (находящимися в пределах их границ). б) Страны, самостоятельно создающие активы путем внутреннего накопления, но импортирующие топливо из других стран. в) Страны с неразвитыми активами, но обладающие собственными энергоисточниками. г) Страны с небольшими активами и ограниченными источниками энергии, помимо солнечной энергии.

1. Страны, которые имеют активы (средства, оборудование и пр.), топливо и дефицитные материалы в количествах, превышающих собственные потребности. К этим странам относятся СССР и США (до последнего времени).

2. Страны, которые обладают развитой промышленностью, но импортируют топливо и дефицитные материалы. К ним относятся Япония, ФРГ, Голландия.

3. Не развитые в промышленном отношении страны, которые вывозят больше топлива и дефицитных материалов, чем потребляют сами. Это — Саудовская Аравия, Иран, Заир, Нигерия.

4. Не развитые в промышленном отношении страны, которые вынуждены ввозить топливо и дефицитные материалы.

Некоторые страны, вне сомнения, занимают промежуточное положение и не входят ни в одну из перечисленных групп. Страны, относящиеся к первой группе, занимают самые прочные позиции, поскольку они полностью удовлетворяют все свои потребности в энергии и, следовательно, могут интенсивно развивать свою промышленность¹.

Однако страны, относящиеся к первой группе, из-за быстрого истощения запасов топлива перемещаются вначале во вторую, а в конечном счете в четвертую группу. «Снабжающие страны» (3-я группа), по-видимому, могут переместиться в 1-ю.

Торговля

Энергетическая база торговли

Возможности развития торговли в конкретной стране зависят от ее энергетических ресурсов, которые могут быть использованы для производства энергии, имеющей особую ценность для другой страны. На рис. 95 показаны взаимосвязи между запасами топлива и дефицитного сырья, солнечной энергией и образующимися активами внутри страны, которая производит товары и услуги, идущие на экспорт и обрабатываемые в деньги. Эти деньги вновь направляются на закупку необходимого топлива, товаров и услуг. Чем больше источников энергии имеет страна на своей территории, тем ниже может быть стоимость продаваемых ею товаров и предоставляемых услуг. Чем дешевле страна продает товары, которые она производит, тем большую часть мирового рынка она может захватить и тем больше может быть объем ее торговли. Чем больше она продает, тем больше дополнительной энергии она в состоянии закупить. При наличии собственных источников энергии страна может легко приобретать дополнительную энергию. Развитие экономики стимулируется получением таких видов энергии, стоимость которой превосходит стоимость экспортируемой энергии того или иного качества.

¹ В этой классификации совершенно не учитываются особенности социальной и политической структуры тех или иных стран. — Прим. ред.

Торговля и мировое производство

Анализируя сельскохозяйственное производство, мы обнаружили, что энергопоток одного типа может взаимодействовать с энергопотоком другого типа, в результате чего высвобождается высококачественная энергия, необходимая для поддержания жизнедеятельности людей. Обеспечение их пищей, одеждой и жильем связано с затратами разнообразных видов энергии. Таким образом, интенсификация сложных форм производства, обеспечивающих удовлетворение потребностей человека, достигается путем сочетания производств различных регионов, энергетически специализированных между собой. Разнообразие энергетических потоков может создать дополнительную энергию. Обмен и мировая торговля в состоянии улучшить энергообеспечение регионов, испытывающих недостаток в энергии. Часто для удовлетворения какой-то потребности внутри страны выгоднее импортировать энергию, так как это в конечном счете обходится дешевле. Если же энергетические затраты на обмен и перевозку запасов топлива выше, чем выигрыш в объемах энергии, который можно получить за счет обмена, то энергоснабжение из внутренних источников выгоднее. Когда возникли тепловые двигатели, необходимо было прежде всего интенсифицировать перевозку минерального топлива. Это способствовало развитию мирового транспорта, а полезные ископаемые стали использоваться для устранения тех препятствий, которые стояли на пути эффективной организации энергопотоков. Существование богатых источников ископаемого топлива способствовало значительному повышению деловой активности.

Платежный, энергетический и денежный баланс

Один из наиболее известных принципов международной экономической жизни — обеспечение равновесия платежных балансов. Платежный баланс можно анализировать с помощью либо энергетических, либо денежных показателей. Если страна А покупает в стране В товары и приобретает услуг на сумму 1 млн. долл., то страна А должна вернуть эти деньги путем продажи, прямой или косвенной, соответствующего количества товаров и услуг стране В. Платежный баланс одной страны приведен на рис. 95. Торговый (платежный) баланс двух стран показан на рис. 96.

На рис. 95 более детально раскрываются такие процессы, как денежное обращение, для продолжения торгового обмена оно должно быть сбалансированным. Из рис. 96 и 97 видно, что страна А обладает большими — по сравнению со страной В — запасами солнечной энергии и меньшими — ископаемого топлива, следует также иметь в виду, товарный обмен одной страны дополняет товарный обмен другой.

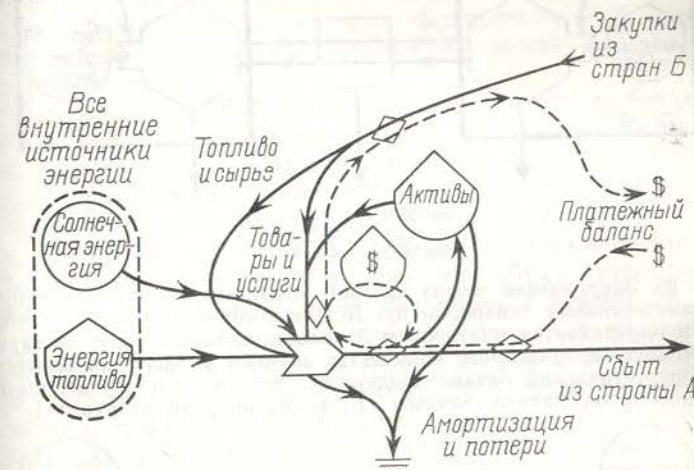


Рис. 95. Взаимосвязи потоков энергии с внешнеторговым платежным балансом и, следовательно, с уровнем экономического развития страны, определяющего конкурентоспособность ее товаров. Платежный баланс более благоприятен, если страна располагает крупными источниками энергии и уровень потерь энергии в производственных процессах относительно невелик.

Сохранение равновесия платежных балансов важно потому, что необходимо поддерживать баланс энергообмена. Для того чтобы разобраться в этих процессах, рассмотрим диаграммы, приведенные на рис. 96 и 97. На рис. 96 показан обмен между двумя странами, каждая из которых специализируется в выпуске той или иной продукции. Допустим, что страна А обменивает свои продовольственные товары на машины, поставляемые страной В. За продаваемое продовольствие страна А должна выручить такое же количество средств (в соответствующих эквивалентах), сколько она импортирует, или даже большую сумму. Если страна получает больше, то она может эти излишки накопить.

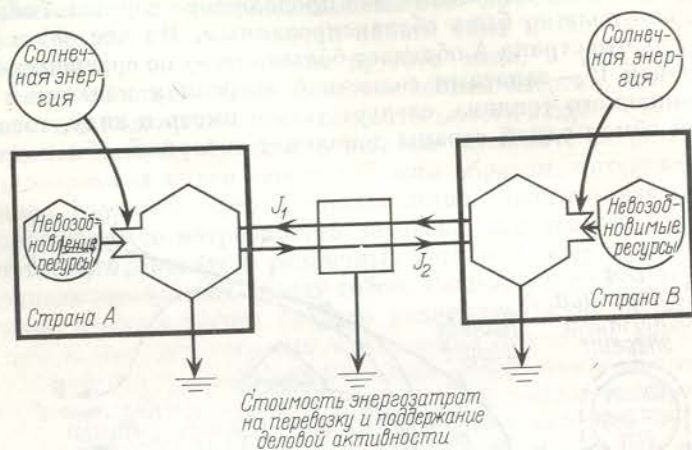


Рис. 96. Энергообмен между двумя странами, соответствующий внешнеторговому товарообмену. Жизнеспособность внешней торговли определяется платежным балансом, который соответствует вложению определенного количества энергии в сферу производства. Энергетический баланс поддерживается в том случае, когда энергия на выходе системы (J_1) равна энергии на входе J_2 .

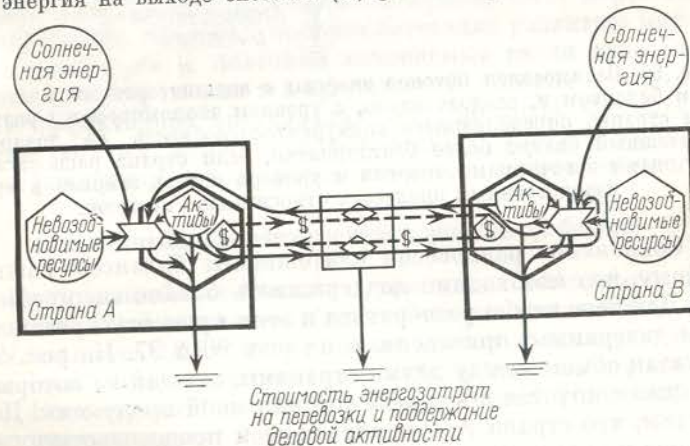


Рис. 97. Денежные потоки между двумя странами при внешнеторговом товарообмене.

ливать и использовать для развития своей экономики, повышения уровня разнообразия экономики или для нового обмена, как об этом говорилось в гл. 6. Если от внешней торговли страна получает меньше, то ей придется расходовать свои собственные запасы, а это означает, что такой вид торговли ведет к потере энергии. В этом случае готовую продукцию выгоднее реализовать на внутреннем, а не на внешнем рынке. Наиболее крепкими экономическими системами окажутся те, которые наращивают свой экономический потенциал, поддерживая равновесие своего платежного баланса.

Для поддержания равновесия энергетического баланса необходимо обеспечить равновесие платежного баланса. Большинство людей измеряют ценности в денежных единицах, поскольку в личной жизни людей деньги играют, по-видимому, решающую роль. Схема, изображенная на рис. 97, показывает, что энергетический баланс обуславливает платежный баланс. Отметим, что обмен энергетическими потоками производится при помощи денежного обмена. Для закупки машин в стране В страна А переводит туда соответствующую сумму денег, страна В в свою очередь покупает продовольствие в стране А, также расплачиваясь деньгами. Если страна А покупает машины на сумму 1 млн. долл., но получает за продаваемое в страну В продовольствие лишь 500 тыс. долл., то она не получит достаточно средств для приобретения новых машин, необходимых для производства продовольствия. Страна А должна в этом случае повысить цены на свои товары, чтобы компенсировать свои потери. Стране В придется затратить все те деньги, которые она получила за проданные стране А машины, чтобы приобрести необходимое ей продовольствие по более высоким ценам. Если бы нашла третья страна, которая продавала бы свое продовольствие дешевле, то страна А должна была бы отказаться от экспорта своего продовольствия в страну В и изыскать для внешней торговли какие-то новые товары.

Девальвация денег

Если какая-либо страна, например нефтедобывающая, продает другой стране, например США, больше товаров, чем приобретает, то в первой стране сложится дефицит платежного баланса. В данном примере деньги из США

накапливаются в нефтедобывающей стране быстрее, чем последняя может их использовать для закупки американских товаров. В нефтедобывающей стране в результате этого накапливаются излишки американской валюты, ценность которой состоит только в том, что на нее можно купить американские товары. Нефтедобывающая страна, имея в избытке американскую валюту, станет приобретать американские товары по повышенным ценам, с тем чтобы обратить эту валюту в полезные товары. Деньги будут тратиться быстрее, чем энергия, которая покупается на них. Ценность доллара упадет. Поскольку доллар воплощает в себе теперь меньший поток энергии, его реальная стоимость падает. В этом случае нефтедобывающая страна вновь повысит цену на нефть, которую она продает США. Когда равновесие платежных балансов нарушается, деньги той страны, валюта которой за границей имеется в избытке — в данном случае валюта США, — теряют свою ценность. Те, кто занимается обменом валют, дадут на один доллар иностранной валюты меньше, чем раньше.

Внутренняя энергия и внешняя торговля

Предположим, что страна А располагает большими резервами возобновимой солнечной энергии, чем страна В. В такой ситуации страна А может произвести больше товаров на экспорт (например, продовольствия) для товарообмена со страной В. Страна А в состоянии понизить цены на свои товары, что приведет к увеличению поступления иностранной валюты. Накопление ее позволит закупить в стране В больше товаров и тем самым получить из-за рубежа больше энергии. Страна, обладающая лучшими внутренними источниками энергии, стремится поэтому иметь положительный торговый баланс в энергетических и денежных показателях.

Страна со скудными внутренними источниками энергии вынуждена экспортировать больше своей продукции, чтобы получить от ее реализации то, в чем она нуждается. В результате она обладает меньшими активами. Становится экономически невыгодным направлять продукцию своей промышленности на дальнейший рост активов другой страны, обладающей более развитой энергетической базой. США на протяжении ряда лет обладали более крупными, чем другие страны, внутренними источниками энергии, что

обеспечивало им положительный торговый баланс, прирост активов, повышение деловой активности, расширение производства продукции, концентрирующей энергию высокого качества. Интенсивная эксплуатация американских источников энергии, увеличение производства энергии в других странах и повышение цен на нее привели к тому, что торговый баланс США стал отрицательным. Рост активов и производства, основанного на использовании высококачественных видов энергии, характерен уже для стран — поставщиков энергии.

Золото

Золото всегда высоко ценилось потому, что оно не подвержено коррозии и сравнительно редко встречается. В истории многих стран золото выполняло функции денег. Даже при завоевании одной страны другой, при резких сменах валютной системы при инфляции и обесценении денег, выпущенных этой страной, золотые монеты ценились высоко. В наше время масса обращающихся денег стала столь значительной, а доверие к валютно-финансовой системе государства столь велико, что золото стало менее важным товаром, чем сами деньги. Однако, когда деньги обесцениваются вследствие инфляции, приобретение золота считается одним из лучших способов сохранения своих сбережений. Поскольку золото добыто меньше, чем необходимо для этих целей, оно становится объектом спекуляции и его рыночная цена повышается и, пожалуй, намного превосходит его стоимость в энергетических эквивалентах. По мере того как запасы энергии уменьшаются и все большее количество людей старается превратить свои сбережения в золото, его цена может упасть настолько, что она будет отражать его реальную стоимость как материала, используемого в ювелирном ремесле и промышленности.

Концентрация населения и энергетических ресурсов

С развитием системы здравоохранения и средств современной медицины накопленный в этой области опыт получил самое широкое распространение во всем мире. Распространение современных методов лечения было делом миссионеров, их разработка субсидировалась частными фондами и правительственными программами. Это привело к тому, что роль болезней как регулятора численности на-

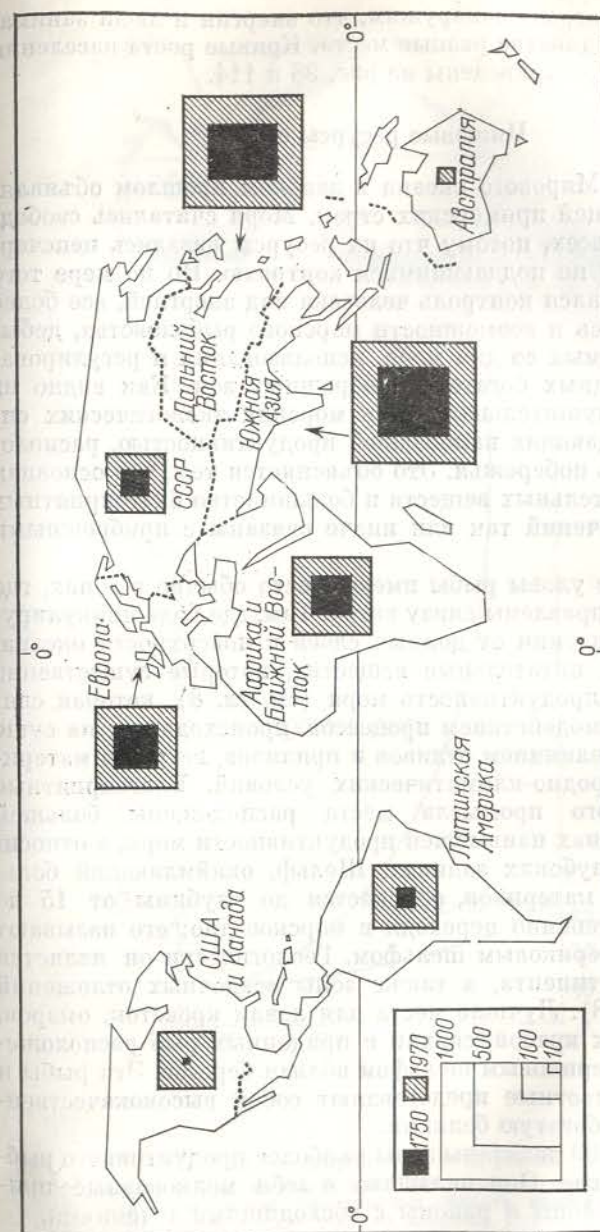
селения существенно уменьшалась. Данное обстоятельство наряду со стремлением повысить уровень жизни способствовало ускорению роста населения во многих странах (см. рис. 98).

Некоторые из этих стран, например Франция и США, у которых вначале плотность населения была сравнительно невысокой, оказались в состоянии быстро развить свою систему образования и технику добычи минерального топлива. Условия жизни человека улучшались, и среднее количество энергии, приходившееся на душу населения, возрастало. В промышленных странах машины заменили ручной труд во многих областях. Были разработаны методы регулирования рождаемости. Отношение людей к многодетной семье изменилось. Рост численности населения стал замедляться до того, как разработка энергетических ресурсов стала подходить к уровню насыщения. По этой причине количество энергии в расчете на душу населения могло оставаться более или менее постоянным.

Однако в таких странах, как Индия и Египет, где издавна плотность населения была достаточно высокой и где техника добычи ископаемого топлива развивалась медленно, население тем не менее росло, а количество энергии на душу населения оставалось очень низким.

Эти страны старались развить свою промышленность и увеличивать количество энергии на душу населения. Однако возможность достижения этого без уменьшения численности населения весьма сомнительна. Когда нехватка ископаемого топлива стала явной и цены на него соответственно поднялись, этим странам стало трудно импортировать энергию в больших количествах. Количество энергии, приходящееся на душу населения, вновь значительно сократилось.

Равномерное распределение энергии между всеми странами кажется на первый взгляд лучшим решением энергетических проблем, но в ряде случаев оно противоречило бы принципу сохранения жизнеспособности экономической системы и максимального развития экономического потенциала. Энергия должна использоваться прежде всего для увеличения производства энергии и для повышения эффективности ее использования. Равномерное распределение энергии на душу населения не поможет делу, если труд людей будет неравным или население страны превысит уровень, необходимый для успешной конкуренции одной экономической системы с другими. Рассматривая мир как



РОСТ НАСЕЛЕНИЯ ЗЕМНОГО ШАРА
1750–1970 гг.

Рис. 98. Распределение населения земного шара до и после промышленной революции. Числа представляют миллионы людей.

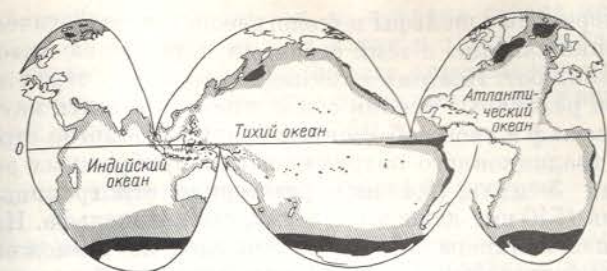
единое целое, мы обнаружим, что энергия и люди занимают в этом единстве разные места. Кривые роста населения земного шара приведены на рис. 98 и 114.

Пищевые ресурсы океана

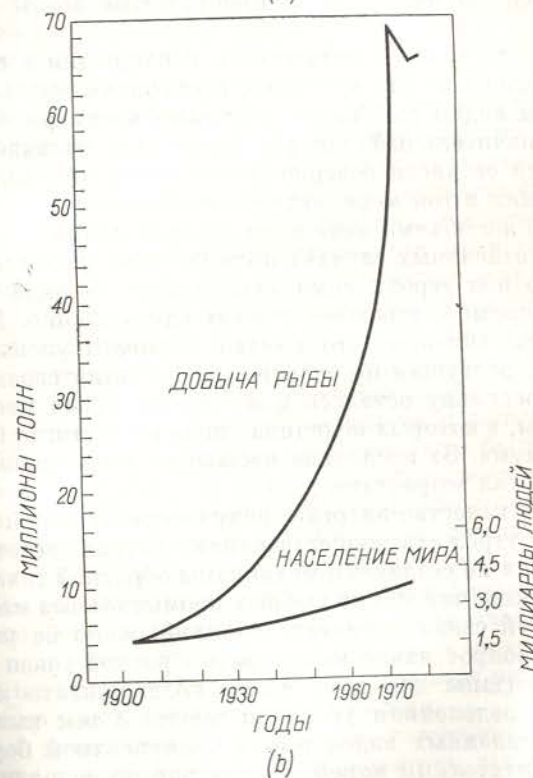
Берега Мирового океана в далеком прошлом объявлялись границей приморских стран. Моря считались свободными для всех, потому что их ресурсы казались неисчерпаемыми и не поддающимися контролю. Но по мере того как усиливался контроль человека над энергией, все более расширялись и возможности морского рыболовства, добычи ископаемых со дна моря, использования и регулирования природных богатств прибрежных зон. Как видно из рис. 99, внушительная часть морских экологических систем, обладающих наибольшей продуктивностью, расположена вдоль побережья. Это объясняется тем, что основная масса питательных веществ и большинство благоприятных морских течений так или иначе связаны с прибрежными районами.

Богатые уловы рыбы имеют место обычно в зонах, где течения направлены снизу вверх. Там, где вода циркулирует в направлении от донных слоев к поверхности океана, образуются питательные вещества, которые существенно повышают продуктивность моря (см. гл. 8), которая связана с взаимодействием процессов, происходящих на суше и в воде, с влиянием отливов и приливов, ветров и материковых природно-климатических условий. Благоприятные для рыбного промысла места расположены большей частью в зонах наивысшей продуктивности моря, в относительно неглубоких заливах. Шельф, окаймляющий большую часть материков, опускается до глубины от 15 до 150 м, постепенно переходя в морское дно; его называют обычно материковым шельфом. Геологически он является частью континента, а также зоны осадочных отложений (см. рис. 58). Лучшие места для ловли креветок, омаров, королевских крабов, сардин и придонных рыб расположены над материковым шельфом вблизи берегов. Эти рыбы и морские животные представляют собой высококачественную пищу, богатую белками.

На рис. 99 показаны зоны наиболее продуктивного рыбного промысла. Они включают в себя мелководные прибрежные районы и районы с восходящими течениями.



(а)



(б)

Рис. 99. Мировая добыча рыбы.

а) Распределение зон, изобилующих минеральными питательными веществами в мировом океане. Зачерненные области наиболее богаты питательными веществами, белые области наиболее бедны. б) Кривые роста добычи рыбы и роста населения на земном шаре.

Материковые шельфы в геологическом и биологическом отношении связаны с теми странами, территорию которых они окаймляют. Поэтому в последние годы ряд стран приняли различные усилия с тем, чтобы включить материковый шельф в свои собственные границы. Многие страны вместо традиционного патрулирования прибрежных зон в пределах 3 миль (5,4 км) расширили эти границы до 300 миль (540 км) даже в тех зонах, где нет шельфа. Наличие запасов минерального топлива сделало возможными рейды рыболовецких флотилий, состоящих из больших кораблей по переработке рыбы и вспомогательных небольших рыболовецких судов, к прибрежным водам других стран.

Многие дары моря включаются в наши дни в систему питания человека. Здесь, однако, необходимо иметь в виду, что многим видам рыб нерегулируемый чрезмерный отлов наносит значительный ущерб. Последнее означает, что остающейся ее части совершенно недостаточно для роста ее популяции в той мере, которая необходима для обеспечения того же объема лова в следующем сезоне. Чрезмерный лов в отдельных случаях принял такие масштабы, что поставлено под угрозу само существование ряда видов. Китаю, например, угрожает полное уничтожение. Многие специалисты считают, что кривая мирового улова рыбы (рис. 99b), растущая по экспоненте, достигла своего максимума, поскольку осталось мало промысловых мест обитания рыбы, в которых величина улова не достигла бы своего максимума. За последние несколько лет мировой улов рыбы перестал возрастать.

Высокое качество энергии, получаемое от одной системы, может угрожать существованию других источников энергии, если не создаются механизмы обратной связи (см. гл. 3). Функционирование рыбных промыслов без механизмов обратной связи схематически изображено на рис. 20. Возникает вопрос, какие механизмы обратной связи должны быть созданы для того, чтобы поддерживать добычу рыбы на определенном уровне и вместе с тем выживаемость определенных видов рыб в конкурентной борьбе с другими обитателями морей. До сих пор не ясно: должны ли рыбные промыслы контролироваться международной организацией или следует поделить между странами морские просторы, отдав рыбные промыслы на том или ином участке под юрисдикцию близлежащих стран? Если полу-

чение энергии уменьшается, то ни одна страна не имеет права на отлов рыбы во всех морях и океанах и не может устанавливать свое господство при определении размеров ежегодного улова рыбы. Лишь тогда прекратится нерегулируемый, хищнический отлов рыбы.

Мировые продовольственные ресурсы

В периоды роста производства энергии, широкого внедрения машинной техники в сельское хозяйство и развития системы медицинского обслуживания во всем мире было достаточно продуктов питания. В эти же периоды наблюдался рост численности населения. В начале 70-х г. впервые возникло опасение в том, может ли рост производства продуктов питания осуществляться в еще больших темпах? Современное сельскохозяйственное производство основывается прежде всего на использовании энергии минерального топлива, но эта энергия быстро расходуется, а ее дальнейшее получение наталкивается на ряд серьезных затруднений. Кроме того, ранее изыскивались различные методы стимулирования сельскохозяйственного производства, теперь же результаты этих стимулирующих мер все менее ощутимы. Если в странах, численность населения которых значительно превышала реальные возможности снабжения его продовольствием, наступал голод, остальные страны посылали излишки своего продовольствия с тем, чтобы предотвратить смерть людей от голода и вспышки эпидемий. Не существовало силы, которая была бы в состоянии заставить какую-либо страну ограничить рост численности своего населения или изменить свой образ жизни, чтобы избежать угрозы голода. К 70-м годам фонды продовольствия существовали только в странах с индустриализованным сельским хозяйством. Но и эти фонды стали иссякать по мере повышения цен на минеральное топливо. Если сохранятся нынешние темпы роста населения, то это наверняка повлечет за собой еще большую нехватку минерального топлива и продуктов питания.

Эти изменения в количестве полученных продуктов питания и в их распределении, вероятно, приведут к тому, что обеспечение населения продовольствием станет внутренним делом соответствующих регионов. Каждая страна сама найдет наиболее эффективные способы производства продуктов питания; ее зависимость от импорта продоволь-

ствия, производимого с помощью техники, использующей энергию минерального топлива, уменьшится. Вместе с этим увеличится площадь сельскохозяйственных угодий и возникнет нехватка в соответствующих машинах и удобрениях.

Обмен пшеницы на нефть

Некоторые страны, обладающие хорошими природно-климатическими условиями, могут обменивать часть своего урожая пшеницы или других культур на нефть, добываемую в тех странах, где уровень развития сельскохозяйственного производства еще недостаточен. Если США обменивают 50 млн. т пшеницы на 620 млн. баррелей нефти, то общий итог этого обмена в ЕУТ не трудно рассчитать: в обмен на 1 Кал. за границу отправляется 5 Кал., и в сельскохозяйственном производстве используется энергия лишь в 1 Кал. Рост сельскохозяйственного производства в США представляет собой временное явление и может осуществляться до тех пор, пока поддерживается поступление энергии извне.

Территория

В первобытных племенах и среди многих видов животных группы или отдельные особи определяют границы «своей» территории и защищают ее от групп или индивидов, проживающих на соседних территориях. На границах двух территорий обычно происходят столкновения, в результате которых между особями или группами устанавливается некоторая дистанция. Она-то и позволяет тем, кто не выходит за границы «своей» территории, вести относительно спокойную жизнь. Там, где запасы энергии на каждую особь достаточно высоки, размеры занимаемой ими территории могут увеличиваться. Нечто подобное имеет место во внешней политике стран в области энергетики. Богатые энергией страны могут устанавливать свое господство над более обширными районами, чем страны со скудными энергоресурсами, так как в распоряжении первых имеются более значительные запасы энергии, необходимые для развития экономики, обороны, транспортировок на дальние расстояния, средств коммуникаций и повышения уровня организации. Когда энергоресурсы, которыми рас-

полагает данная страна, истощаются, уменьшаются и ее возможности оказывать влияние (экономическое, военное и культурное) и она должна искать контакты со своими конкурентами.

Война

Границы между конкурирующими энергосистемами могут быть стабильными, если размеры соответствующих территорий пропорциональны относительным объемам производства энергии. Когда производство энергии возрастает, тенденции к росту и расширению своего влияния на окружающие страны становятся преобладающими. Могут формироваться и усиливаться тенденции, ведущие к войне, когда объем производства энергии велик и продолжает расти; в этом случае определенно наблюдаются тенденции к развязыванию разрушительных войн. Когда энергетический потенциал страны уменьшается, могут сократиться и запасы энергии, необходимые для ведения военных действий, а вместе с ними и стремление к расширению сферы своего влияния.

Если одна страна или группа стран увеличивает свою мощь в сравнении с другой страной, но границы при этом остаются без изменений, возникает неустойчивая ситуация, которая в свою очередь может привести к войне. Если население какой-либо страны полагает, что страна обладает достаточной мощью для вторжения, но не учитывает реальных своих возможностей, страна терпит фиаско (как это было с нацистской Германией). Столь же критическая ситуация складывается тогда, когда население и правительство считают, что страна в состоянии защитить свои границы, хотя в действительности она не в состоянии этого сделать. Тогда следует ожидать экономических потрясений, военных акций, революций. Правда, нельзя достаточно определенно оценить соотношение между энергетическими ресурсами, территорией страны и войной.

В общем, исход войны зависит от энергетического потенциала, которым располагают ее участники. Если бы мы могли рассчитать наперед, какая сторона находится в более благоприятном положении в отношении энерговооруженности и если бы люди осознавали значение энергии и были бы твердо убеждены, что с помощью этих расчетов можно предугадать исход войны, то тогда, возможно, со-

перничающие стороны могли бы найти сдерживающие средства и способы решения своих проблем, учитывая реальную энергетическую ситуацию и не прибегая к войнам¹.

¹ Преувеличивая значение энергии в международной жизни, авторы пытаются объяснить происхождение войн как борьбу за источники энергии между «богатыми» и «бедными» странами. Они забывают не только о различных исторических типах войн, но и о том, что в наши дни войны обусловлены прежде всего природой капиталистического общества. — *Прим. ред.*

Глава 13

ЭНЕРГИЯ И ЧЕЛОВЕК

В те времена, когда жизнь людей отличалась большей простотой, энергетические процессы, обеспечивающие их существование, ограничивались главным образом непосредственными действиями человека, имевшими целью добыть пищу, одежду, кров и тепло. Энергия, которую потреблял человек, проходила длинную цепь преобразований в природных экосистемах (рис. 100). Сегодня, в нашем урбанизированном мире, насыщенном высококачественной энергией, человек менее непосредственно связан с естественными энергетическими потоками. Большая часть энергии поступает теперь в распоряжение человека из экономической системы. Как показано на рис. 101, энергетические потоки, используемые современным человеком, гораздо более мощны и проходят ряд ступеней, до того как оказываются в его распоряжении. Многие товары, приобретаемые человеком через системы торговли и общественного обслуживания, представляют собой изделия, воплощающие в себе энергию высокого качества, принципиально отличающуюся от потоков энергии, заключенной просто в топливе. Мы даже не представляем себе громадных масштабов того энергетического фундамента, на котором зиждется современное общество. Вследствие того что современный человек обладает большим числом реальных и потенциальных благ, обеспечивающих его существование, наш мир гораздо более сложен, чем мир наших предков.

На рис. 102 с большими деталями изображена диаграмма энергетических потоков, связанных с жизнеобеспечением

ем человека. На ней даны энергетические потоки и взаимосвязи между ними, обеспечивающие жизнь человека, занимающегося преподаванием и ведением домашнего хозяйства. Конечно, жизнь одного человека отличается от жизни другого, однако существуют определенные образцы поведения, общие для многих людей.

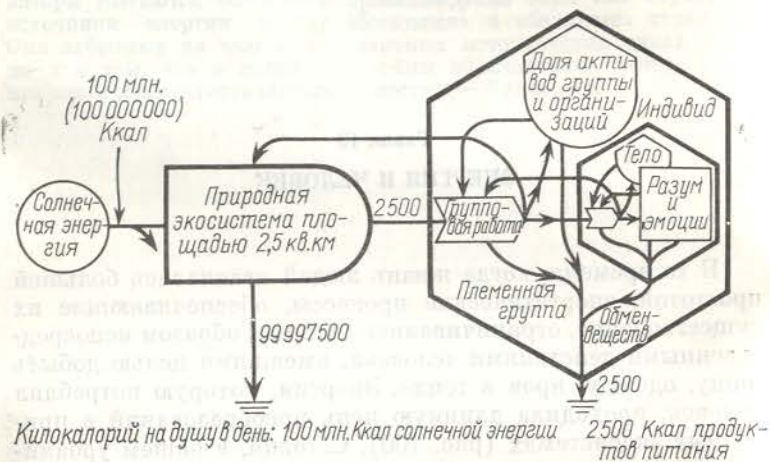


Рис. 100. Энергетический базис первобытных обществ, где люди добывают средства к жизни охотой и собирательством. Числа на диаграмме представляют собой энергию, выраженную в единицах условного топлива в расчете на одного человека в день. Источником энергии служит земельный участок площадью 2,56 кв. км.

Человек зачастую не связывает свои потребности с энергетическими затратами. Он полагает, что каждый свободен в выборе тех или иных возможностей, того или иного пути жизни. Действительно, еще совсем недавно запасы энергии различных видов были столь значительны, а производство энергии росло в таких темпах, что люди могли и не задумываться об энергетическом базисе своей жизни. Это, конечно, объяснялось и тем, что у них не возникало даже мысли о том, что рост потребления многочисленных благ связан с интенсификацией производства. В общественном сознании доминировала вера в прогресс и устойчивость изменений. В некоторых случаях изменений было

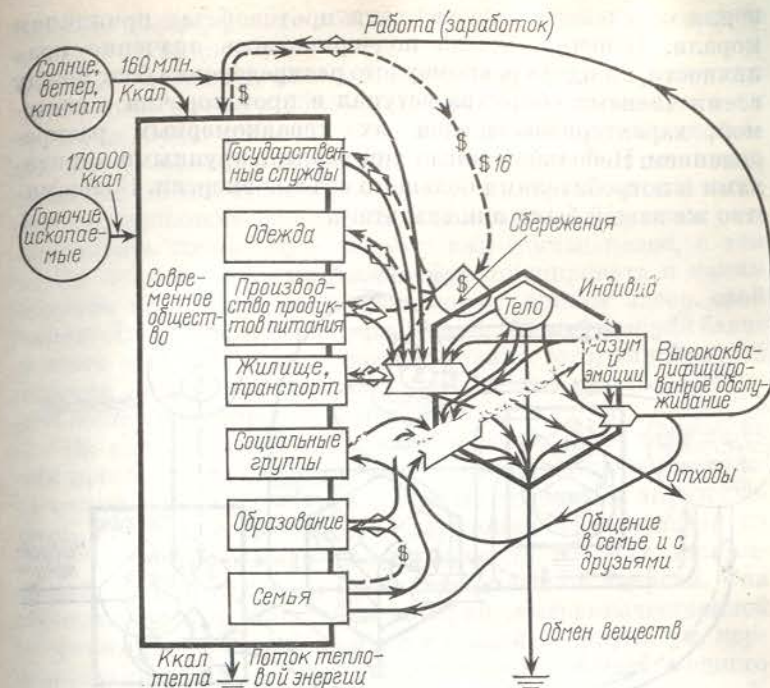


Рис. 101. Потоки энергии, используемые человеком в современном обществе. Числа представляют собой эквиваленты энергии, приходящейся на одного человека в единицах условного топлива.

так много, что реакция на них описывалась как «шок будущего»¹. Люди утратили чувство своей ценности в этом мире. Это объясняется громадными излишками энергии, слишком большим уровнем разнообразия социальной системы, скоростью изменений всего образа жизни и крайне незначительными требованиями, которые предъявлялись к личности. Личность испытывала громадные затруднения при определении своего места в социальной системе и решении вопроса о том, является ли она сама частью этой системы или представляет собой самостоятельную ценность. Войны губительны и для десятков миллионов людей,

¹ Авторы имеют в виду книгу известного американского футуролога и публициста Элвина Тоффлера «Шок будущего» (A. Toffler. Future shock. London, 1970). — Прим. ред.

и для отдельного человека, они противоречат принципам морали. Конечно, всегда подчеркивалось значение прав личности, но идеал равномерного распределения благ между всеми членами общества вступал в противоречия с системой, характеризовавшейся их неравномерным распределением. Небольшое число лиц владело крупными капиталами и потребителями большого объема энергии. Большинство же людей были лишены этого.

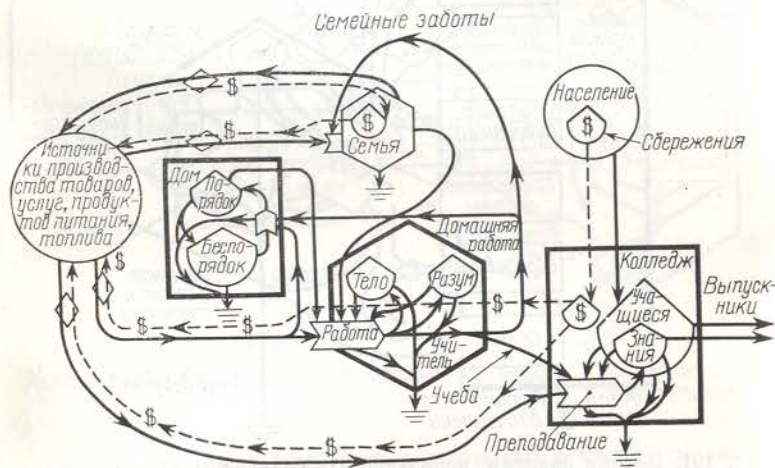


Рис. 102. Диаграмма энергетических затрат человека, занимающегося преподаванием и домашним хозяйством.

Система образования учила нас разбираться все лучше и подробнее в тех или иных деталях, но она оставляла все меньше возможностей для того, чтобы разобраться в глобальных процессах. Дисциплины, изучавшиеся по учебным программам, все более дробились и специализировались. Здоровые идеи о всеобщей значимости энергии редко кем отстаивались. Валютно-финансовая система из-за депрессий и инфляций казалась причудливой и таинственной. Человек получает большой объем разнообразной информации, но от этого не углублялось его понимание окружающей действительности. Традиционные религиозные ценности и идея долга казались несоответствующими идеалам свободы личности и ее реализации. Стремление сохранить свою индивидуальность иногда ввергало человека, суще-

ство по преимуществу общественное, в состояние пассивности и изоляции.

Как мы видели, система, в которой люди не получают необходимых благ в обмен на энергию, заключенную в их труде, не будет работать с максимальной отдачей, способствующей созданию эффективных энергетических потоков. Если мы уясним себе, что существуют энергетические законы, управляющие нашим образом жизни, мы сможем рассматривать социальную систему как единое целое, с тем чтобы понять, как она должна функционировать и каким образом каждый из ее членов может внести здесь свой вклад. Диаграммы, характеризующие энергетический базис нашего общества, облегчают понимание того, как каждый человек может содействовать повышению жизнеспособности общества и обрести смысл жизни.

На рис. 100 показано, каким образом солнечная энергия преобразуется в высококачественные компоненты человеческой жизни. Почти не тронутые человеком экологические системы с плотностью населения один человек на одну квадратную милю получали около 100 млн. килокалорий низкой по своему качеству солнечной энергии. Она превращалась в 2500 килокалорий высококачественной энергии, потребляемой людьми с пищей — фруктами, корнеплодами и дичью. Для существования в обществе одного человека, занимавшегося охотой и собирательством, необходимо было усвоить с пищей в сутки 2500 Калорий концентрированной энергии, что эквивалентно 100 млн. килокалориям солнечной энергии низкого качества. В социальной системе, созданной людьми, повышение качества солнечной энергии достигается тремя взаимосвязанными путями. Первый связан с деятельностью социальной группы, направленной на повышение уровня организации, на обучение подрастающего поколения и на управление делами общины. Второй путь — поддержание жизнедеятельности организма человека. Третий — поддержание его умственной и эмоциональной жизни. Эти потоки энергии отличаются чрезвычайно высоким качеством. Мы назовем их энергетическими потоками, предназначенными для обработки информации. Деятельность человека обеспечивает функционирование обратных связей между потоками энергии, высокой по качеству (см. рис. 100). Как мы уже говорили, человек тесно связан с той экосистемой, частью которой он является, если энергетическое воздействие его специализи-

рованного труда столь же велико, как и расход энергии этой системы, соответствующий энергетическим запросам человека. На рис. 101 отображены энергетические потоки, обеспечивающие жизнь современного общества. Эти потоки включают в себя энергию ископаемого топлива и ряд других более сложных видов энергии, необходимых для использования высококачественной энергии и обеспечения ее взаимосвязи с солнечной энергией. При этом в часть энергетических потоков включены потоки денежных средств, хотя не все денежные средства приобретаются в торговом обмене. Человек обычно получает денежные средства в качестве вознаграждения за свою работу или как член семьи.

Энергетические потоки, изображенные на рис. 100 и 101, выражены в тепловых эквивалентах. Причем поступление энергии равно ее затратам. Для сравнения на рис. 103 схематически изображены те же системы, но с энергетическими потоками, выраженными в ЕУТ.

Количество энергии в расчете на душу населения

Человек с пищей потребляет в день в среднем 2500 ккал. Однако для удовлетворения потребностей современного человека необходима гораздо более мощная энергетическая база, т. к. оно связано с использованием громадного числа материалов, с затратами энергии чрезвычайно высокой концентрации и качества. В примитивных обществах среднесуточное потребление энергии на душу населения, выраженное в единицах условного топлива, составляло около 50 000 ккал. В условиях современного общества, основанного на применении энергии, высокой по своему качеству, потребление энергии на душу в день составляет около 250 000 ккал (см. рис. 103). Высокий уровень образования и усложнение деятельности современного человека стали возможными в связи с потреблением обществом больших количеств энергии.

Для возмещения таких затрат энергии люди должны создать большую систему разнообразных механизмов обратной связи, функционирование которых требует от людей специального опыта и профессионального обучения. Много лет должно пройти, прежде чем энергетический вклад индивида в общество станет равным затратам общества на обеспечение жизни и развития человека. Энер-

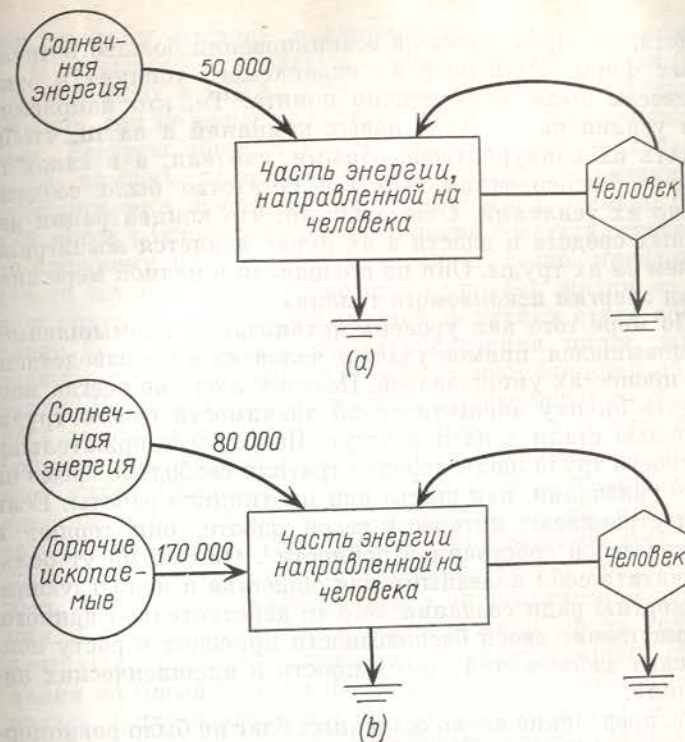


Рис. 103. Энергетические потоки, потребляемые человеком в единицах условного топлива (ккал).

а) Первобытное общество (см. рис. 100). б) Современное общество (см. рис. 101). На этих диаграммах солнечная энергия преобразована в эквивалентные единицы условного топлива посредством деления на 2000 (см. табл. 1, стр. 124).

гетический вклад большинства людей при этом значительно меньше затрат всего общества. Молодым людям часто весьма трудно найти работу, которая внесла бы ощутимый энергетический вклад в общество с тем, чтобы возместить большие расходы энергии, затраченные на их образование. Более простые работы и функции выполняются преимущественно машинами.

Распределение

На первых стадиях промышленной революции открытие и использование новых источников энергии обеспечило создание новых активов и накопление денежных

средств, что проявлялось в возникновении большого числа новых фирм. Роль энергии ископаемого топлива в этих процессах была недостаточно понята. Те, кто направлял свои усилия на создание новых компаний и на то, чтобы сделать их конкурентоспособными, считали, и в какой-то мере не без основания, что все богатство было создано только их усилиями. Они полагали, что концентрация денежных средств и власти в их руках является вознаграждением за их труды. Они не осознавали в полной мере значения энергии ископаемого топлива.

По мере того как уровень механизации промышленности повышался, прямое участие человека в производственных процессах уменьшалось. Поэтому люди не всегда могли дать оценку энергетической значимости своего труда. Их целью стали деньги и досуг. Из-за бессодержательности своего труда люди нередко тратили свободное время на такие увлечения, как шитье или плотницкие работы. Если люди утрачивают интерес к своей работе, они теряют и чувство своей собственной ценности¹. Они не могут больше считать себя полезными для общества и использующими энергию ради создания чего-то действительно ценного. Это ощущение своей бесполезности приводит к росту психических заболеваний, преступности и изживенческих настроений.

Распределение вновь созданных благ не было равномерным даже среди людей, работавших в новых отраслях промышленности, что еще больше увеличивало брожение умов во всем мире. В Соединенных Штатах Америки широкое распространение требований о равномерном распределении благ привело к активизации деятельности профсоюзов и введению прогрессивного налогообложения. Некоторые страны, например страны социалистической системы, создали новый общественный уклад, при котором правительство регулирует большую часть производства товаров и

¹ Само собой разумеется, речь идет о капиталистической системе, в которой отчуждение привело к тому, что труд утратил какой-либо смысл для человека, потерял всякую привлекательность и ценность. К. Маркс подчеркивал, что созданное наемным рабочим богатство ему «противостоит как чуждое богатство, его собственная производительная сила — как производительная сила его продукта, его обогащение — как самоотчуждение, его общественная сила — как сила общества, властвующего над ним». (К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 26, ч. 3, с. 268). — *Прим. ред.*

при котором частное предпринимательство ограничено. В середине XX в. разрыв между уровнями жизни богатых и бедных в США, хотя и был меньше, чем в других странах, тем не менее все еще оставался весьма значительным. Ресурсы энергии и активы, которыми располагали США, намного превосходили те, которые находились в распоряжении любой другой страны мира. Однако более или менее равномерное распределение богатств оставалось по-прежнему недостижимым идеалом. Было предложено ввести тот предел, ниже которого уровень жизни не должен опускаться. Главной задачей политики стало обеспечение более равномерного распределения пищи, жилья, одежды, средств охраны здоровья и возможностей образования. На защиту равноправия и справедливости обращалось особое внимание не только потому, что они имели большое значение для активизации производства энергии всех видов (поскольку более равномерное распределение энергии может повысить способность людей производительно трудиться). Идея равноправия сама по себе стала идеалом в отличие от понятия равенства как средства сделать жизнь более эффективной в энергетическом отношении. Машины все более и более сужали сферу трудовой деятельности людей. Люди без соответствующего образования не могли найти работу, которая бы хорошо оплачивалась. Были введены законы, устанавливавшие минимум заработной платы, но они еще более затруднили поиск работы для молодежи, людей пожилого возраста и неквалифицированных рабочих, поскольку многие из них не имели необходимой квалификации и тем самым минимума заработной платы.

Был осуществлен эксперимент, имевший большое значение: крупные капиталы были обложены такими налогами, которые должны были дать средства, необходимые для финансирования различных федеральных проектов и оказания помощи бедным. Иными словами, деньги, которые воплощали в себе какую-то часть энергии общества, были направлены на поддержание уровня жизни людей, вклад которых в развитие экономики был недостаточен. Цель, которая преследовалась при этом, состояла в том, чтобы помочь беднякам войти в русло трудовых усилий общества. Но здесь возникла серьезная проблема: общество не располагало необходимым количеством рабочих мест для этих людей из-за того, что имевшиеся запасы энергии

использовались главным образом для поддержания функционирования больших систем и машин. Люди, которые получали от общества средства к жизни, не всегда могут найти приложение своим рукам и предоставлены самим себе. Большое разнообразие тех видов деятельности, которыми пришлось заниматься этим людям, повышало уровень разнообразия общества и приводило к появлению новых методов, которые в конечном счете оказывались эффективными в энергетическом отношении.

Свобода воли и законы энергии

Мы уже видели, как те или иные части системы содействуют выживанию всей системы путем возврата в нее квалифицированного труда в обмен на использованную энергию. Человеческое общество обладает способностью увеличивать запасы энергии в больших, гигантских масштабах, при условии, что члены этого общества в обмен на получаемые материальные блага определенную часть своей энергии отдают либо другим людям, либо воплощают в каких-то компонентах технической или экологической систем. Большинство из нас делает это в рамках своей повседневной работы, а экономическая система осуществляет взаимоувязку объема наших услуг с затратами общества. Кроме того, структура малых групп — семьи, брака, любви и дружеских взаимоотношений между людьми — определяет характер коллективных действий. Каждый из нас ощущает на себе воздействие малых групп. Однако мы испытываем серьезные затруднения, когда приходится сталкиваться с большими системами, для которых характерен интенсивный энергообмен. Это объясняется тем, что мы эмоционально не привязаны к большим безличным системам. Чтобы понять механизмы функционирования больших систем, человеку необходимо иметь соответствующее образование (см. рис. 101).

Ни одна система не может познать самое себя, потому что для самопознания требуется гораздо больше ума, чем для простого существования. Человек совершает миллионы разнообразных действий, не отдавая себе в полной мере отчета в том, как эти действия могут повлиять на другие части системы. И это вполне правомерно, потому что действие, эффективное в энергетическом отношении, может либо повторяться, либо становиться более сложным. Индивидуальная свобода представляет собой форму беспорядка

и ведет к увеличению степени упорядоченности системы, если существует взаимодействие труда человека и не использованной еще энергии. Очевидно, есть определенное равновесие между порядком и беспорядком (см. гл. 3, рис. 11), а инициатива отдельного человека и совместный труд людей являются компонентами такого равновесия. Существование крупных энергетических потоков улучшает энергетический базис реализации свободы человека.

Другая сторона поведения индивида — проявление инициативы — стремление проявить свое творческое начало и индивидуальность. Это также оказывает существенное воздействие на энергию. Приспособление человеческого общества к энергетическим условиям окружающей среды требует постоянного обеспечения новых возможностей выбора альтернативы и принятия человеком необходимых решений. При этом оказывается, что многие из них не обеспечивают производства полезной энергии, и люди перестают тратить на них свои усилия. Какая-то часть их порождает энергетический эффект — они пользуются успехом, так как дают больше энергии и для системы в целом, и для отдельного человека. Выбор, осуществленный одним человеком, и принятое им решение воспроизводится другими людьми. Впрочем, и возможности, первоначально отобранные, а затем отвергнутые, часто оказываются не менее важными, чем те, которые привели к успеху: они необходимы для поиска приемлемых путей и решений. Творческое начало и инициатива отдельно взятого человека являются инструментами выбора или методами адаптации человека к энергетическим условиям среды его обитания. Человек обладает свободой воли и вносит свой вклад, используя ее, независимо от того, используются ли его решения другими людьми или отвергаются ими. Энергетические законы в конечном счете управляют функционированием человеческого общества, но индивидуальная свобода помогает приспособлению человечества к используемым энергетическим потокам.

Этика труда и прогресс

В странах, где периоды наиболее интенсивного роста экономики совпадали с периодами роста энергетического потенциала, люди проходили специальные курсы обучения и получали вознаграждение в соответствии с особенностями своей работы. Длительная приверженность человека к

определенным видам деятельности привела к появлению так называемой этики труда, нормы которой усваиваются в школьном и религиозном воспитании.

В ряде стран и в отдельные периоды истории высокая организация индивидуального труда была необходима для выживания общества, сохранявшего неизменным уровень своего экономического развития; это происходило в силу того, что в этих обществах было мало источников энергии, таких, как ископаемое топливо. В обществе, которое пользовалось запасами природной возобновляемой энергии и не имело других сколько-нибудь значительных энергетических ресурсов, рост был незначительным и новое просто заменяло старое. Для того чтобы внести свой вклад, необходимый для поддержания функционирования такой системы, человек нуждался в особых нормах этики труда, которые исключали бы ориентацию человека на рост и прогресс. Труд необходим для выживания любых социальных систем, как тех, которые характеризуются ростом, так и тех, где такого роста не происходит. В этике труда рост и прогресс до сих пор считаются единственными ценностями. Поскольку рост и прогресс практически невозможны без расширения использования энергии, люди должны пересмотреть свое отношение к труду. Труд и рост экономики следует рассматривать отныне независимо друг от друга. В периоды, когда потребление энергии в конкретном обществе стабильно, успехи в экономическом развитии данной страны могут зависеть от тех или иных «вкладов», а не повышения деловой активности, увеличения богатства или усиления власти, которыми располагает данная страна.

Эмоции человека и энергия

Человек наследует ряд эмоций и инстинктов. По мере индивидуального развития возникает и развивается функциональная целостность унаследованных и приобретенных наклонностей. Некоторые из наших эмоций, такие, как сексуальные переживания, страх, любовь, ненависть и агрессивность, связаны с большими тратами энергии и времени человека. Осознание своих эмоций, организация и их проявление поглощают значительную часть той энергии, которая поддерживает существование индивида. Энергия расходуется и при подавлении того или иного чувства, и при его выражении, и при его сублимации в какую-то форму

деятельности. Эмоции человека находят свое различное выражение в той или иной культуре. Но поскольку выживание человеческого рода зависит от многообразных видов деятельности человека, развитые социальные системы стремятся к тому, чтобы такие формы жизненной активности человека, как сон, игра или секс, не поглощали слишком большого количества энергии.

Агрессивность иногда рассматривалась как врожденное предрасположение человека к войне. В гл. 12 показано, что война — это, скорее всего, следствие накопления огромных запасов энергии, а не врожденных свойств человека. Агрессивность, подобно другим чувствам человека, вообще говоря, подчиняется контролю индивида, хотя она и может быть сублимирована в полезных действиях группы. Каждая достаточно развитая культура находит способы регулирования эмоций человека так, что они в конечном счете приносят, а не потребляют энергию. Индивид, не связанный с какой-либо социальной организацией, может столкнуться с большими трудностями в том, что касается поддержания внутреннего равновесия и нормального функционирования своего организма, ибо человек есть прежде всего социальное существо. Мы обычно стремимся к тому, чтобы регулировать энергетические процессы с таким расчетом, чтобы ответные действия малых групп имели для нас положительное значение; это позволяет человеку осознать свою ценность для жизни общества.

Эстетика

Красота и другие эстетические ценности играют важную роль в жизни человека. Мы часто думаем, что эстетические ценности не поддаются измерению вследствие того, что они в высшей степени индивидуальны и часто их ценность определяется в результате соглашения, основанного в конечном счете на субъективном выборе и предпочтении. Иногда, однако, мы стараемся оценить эстетическое предпочтение при помощи таких средств, как голосование или анкеты.

Красота и другие эстетические ценности тем не менее связаны с энергией. Во-первых, энергия необходима для того, чтобы развить в людях творческие способности. Так, например, большое количество энергии уходит на то, чтобы поддерживать функционирование организаций, которые

ответственны за воспитание и обучение подрастающего поколения, за развитие и поддержание искусства на определенном уровне. В качестве другого примера укажем на то, что большой объем природной энергии усваивается лесами, а они повышают настроение у тех, кто их посещает. Во-вторых, энергия тратится на поддержание необходимого эстетического уровня зрителей, т. е. на их воспитание или обучение. Так, высокая оценка некоторых произведений живописи широкой публикой объясняется эстетическим воспитанием миллионов людей на специальных художественных курсах — эффект, который, очевидно, связан с большими расходами энергии.

Эстетические характеристики культуры играют определенную роль в формировании энергетических потоков, свойственных данной культуре. Некоторые характеристики художественных произведений, связанные с их формой и функциями, постигаются в силу имевшего место воспитания и сложившихся традиций, а они в свою очередь требуют определенных затрат энергии для своего поддержания. Зеленые насаждения в городе могут служить примером того, как эстетические предпочтения, характерные для нашей культуры, приводят к большим и дорогостоящим затратам энергии. Трава, возможно, стала для нас символом выживания потому, что первопроходцы с большим трудом отвоевывали у лесов земельные угодья для разведения сельскохозяйственных культур.

В периоды энергетического изобилия у людей имеется больше времени и они располагают большими ресурсами для художественного творчества, и, следовательно, эти периоды более благоприятны для расцвета искусств.

Уровни организации

Человеческое общество имеет многоуровневую структуру, состоящую из множества групп, членом которых является каждый из нас. Основная, так сказать, административная последовательность этих групп имеет следующий вид: семья, город, графство, штат, нация (страна). Существуют группы, функция которых состоит в организации труда, религиозной жизни, отдыха и экономического обмена. Индивид использует определенную часть своего времени и усилий на развитие своих отношений с другими людьми, отношений, реализуемых с помощью этих групп. Одна-

ко способность человека к общению ограничена относительно небольшим кругом знакомств и связей, в чем-то значимых для него и постоянно им возобновляемых. Обмен информацией и действия, предпринимаемые человеком в неформальных группах, происходят благодаря взаимосвязи различных видов энергии высокого качества, которое и обеспечивает самоорганизацию систем, стимулирующих жизнедеятельность индивида. Человек чувствует себя нравственно здоровым, если взаимосвязь различных видов энергии достаточно развита и существуют возможности выбора.

В периоды оптимальной организации больших социальных систем люди склонны к тому, чтобы проявлять инициативу и высказывать приверженность к тому или иному роду занятий в рамках малых групп, предоставляющих им большие возможности для выбора и развития личности. Во-первых, в такие периоды индивид может работать во имя общечеловеческих целей и принимать самое непосредственное участие в общественно полезном труде. Во-вторых, в периоды кризисов больших социальных систем, например общенациональных кризисов, человек стремится согласовать свои действия с целями крупных организаций для того, чтобы вся система в целом могла выжить в данной ситуации.

Роль человека в цепи преобразования энергии

Ранее мы уже рассматривали энергетические цепи, в которых каждое последующее звено — это энергия более высокого качества, но для осуществления этого преобразования энергии используется определенное количество существующей энергии. Схема энергетической цепи, получения электроэнергии на базе энергии Солнца приводится на рис. 9. На рис. 29 схематически изображена цепь концентрации энергии в пространстве по мере повышения качества энергии. Энергетические пищевые цепи в экологических системах рассматривались в гл. 7, а энергетические цепи, свойственные геологическим процессам, рассмотрены в гл. 8. На рис. 104 приведены общие характеристики всех указанных энергетических цепей. Рис. 104а представляет собой упрощенную схему цепи потребителей энергии. Величина энергетических потоков уменьшается при движении слева направо (см. рис. 104b). При этом,

однако, качество энергии данного потока возрастает (см. рис. 104 с).

Профессиональная деятельность человека также поддается описанию с помощью аналогичных цепей. Люди занимают неодинаковое положение в том или ином звене про-

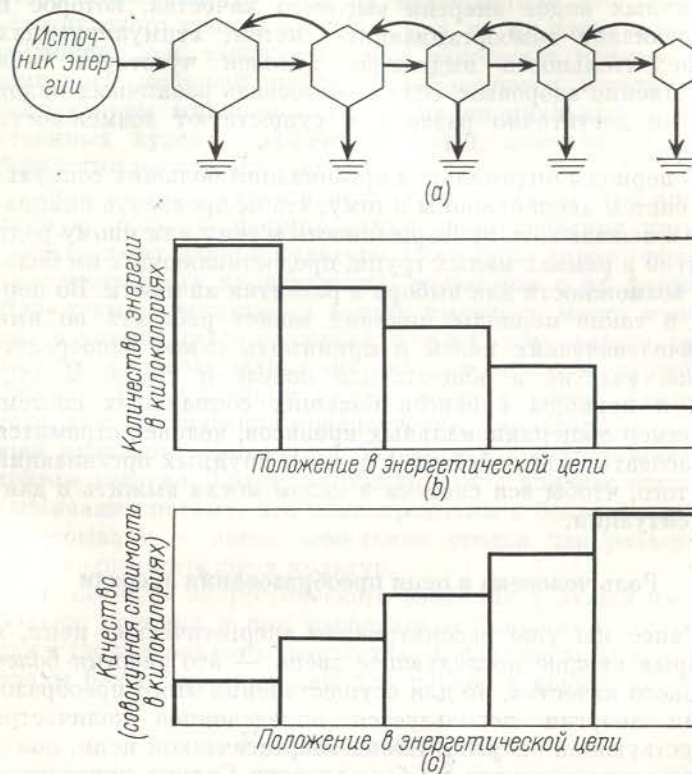


Рис. 104. Энергетическая цепь: качество энергии повышается по мере уменьшения ее количества.

а) Энергетическая цепь. б) Качество энергетического потока в единицу времени (в тепловых эквивалентах). в) Качество энергетического потока. (Мерой качества служит число килокалорий условного топлива, приходящееся на 1 ккал в тепловых эквивалентах; см. объяснение в гл. 6.)

фессиональной цепи. Хотя деятельность человека, в общем, связана с энергией высокого качества, однако виды профессиональных занятий человека различаются по стоимости и качеству энергии. Неквалифицированный ручной

труд показан в левой части диаграммы, квалифицированный труд, требующий профессиональной подготовки и обучения, изображен в правой. Труд людей, выполняющих именно эти виды работ, как правило, оплачивается выше. Но подобных профессий не так уж много. Неквалифицированным трудом занята значительная часть рабочих, квалифицированный труд — занятие гораздо меньшего

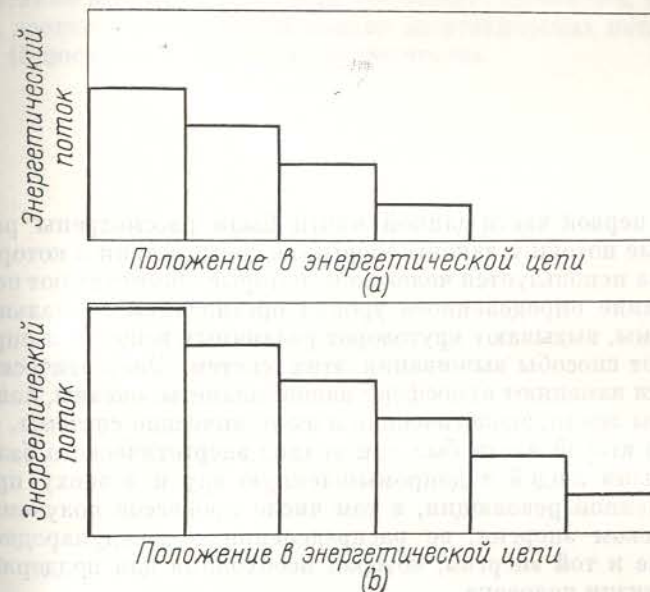


Рис. 105. Сравнение диаграмм распределения энергии для: а) системы с энергией низкого качества и б) системы с энергией высокого качества. Большие запасы энергии необходимы для функционирования блоков, потребляющих энергию высокого качества. Единицы измерения — килокалории (тепловые эквиваленты за единицу времени).

числа людей. Важно, однако, учитывать здесь то, что с началом промышленной революции происходит формирование тенденции к замене труда лиц, получивших профессиональную подготовку, которые на диаграмме представлены слева, машинами. Промышленная революция увеличила также суммарный поток энергии, удлинив цепь, связанную с повышением качества энергии (рис. 105), а это привело к увеличению числа профессий, представленных на диаграмме справа.

Часть третья

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КРИЗИС И ЕГО ПОСЛЕДСТВИЯ

В первой части данной книги были рассмотрены различные потоки и законы энергии, в соответствии с которыми она используется человеком, которые обеспечивают поддержание определенного уровня организации социальной системы, вызывают круговорот различных веществ и определяют способы выживания этих систем. Энергетические потоки изменяют атмосферу нашей планеты, океаны, ландшафты земли, экологические и экономические системы.

Во второй части был дан анализ энергетического базиса жизни людей в допромышленную эру и в эпоху промышленной революции, в том числе процессов получения человеком энергии, ее распределения в международном обмене и той энергии, которая необходима для поддержания жизни человека.

В третьей части книги мы рассмотрим те изменения, которые произошли в мире с 1967 г., нашли свое проявление в энергетическом кризисе 1973 г., в инфляции и экономических потрясениях 1974 г. Здесь же будут проанализированы и обнадеживающие тенденции, которые могут привести к стабильному состоянию общества. Эти тенденции могут быть осмыслены с помощью понятия «полезной энергии», введенного ранее.

Инфляция и нехватка энергии обостряет внимание людей и социальных институтов к выработке и реализации местными органами власти, федеральным правительством и международными организациями стратегии в области энергетики. Следует уяснить себе то, как изменения в энергетике влияют на жизнь общества в целом, почему неко-

торые рекомендации ошибочны, какая энергетическая ситуация сложится в будущем, какого рода жизнь нас ожидает и как осуществить постепенный переход к стабильному состоянию экономики.

Данная часть состоит из трех глав: в гл. 14 анализируются те изменения, которые произойдут, если человечество откажется от модели роста экономики; в гл. 15 дается описание модели стабильного состояния экономики, которое достигается при стабилизации энергетических потоков, гл. 16 посвящена будущему человечества.

Глава 14

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КРИЗИС И ИНФЛЯЦИЯ

В данной главе будут рассмотрены причины энергетического кризиса и инфляционных процессов в наши дни, будет показано, как на основе принципов энергетики можно объяснить и прогнозировать тенденции экономики, проанализированы ошибочные рекомендации в области энергетики и оптимальные пути перехода к стабильному состоянию. Вначале рассмотрим ситуацию, возникшую в 1973 г., когда страны — производители нефти подняли цены на нефть.

Природа энергетического кризиса

К началу 70-х годов для всех стран мира характерен невиданный ранее рост числа городов и численности населения. Неоднократно раздавались предостерегающие голоса о том, что ресурсы энергии и полезных ископаемых недостаточны для ускоренного роста населения, техники и городов. Прежде всего была отмечена опасность загрязнения биосферы: она-то и вызвала повышенный интерес к проблеме защиты окружающей среды. Однако еще до сих пор живучи традиции двухвековой давности, нельзя сразу же избавиться от того образа жизни, который связан с ростом экономики. Авторы многих учебников по экономике отрицательно относились к предостережениям Мальтуса, высказанным почти два века назад. Молодое поколение, сталкиваясь с антагонизмами, характерными для стран с высокоразвитой энергетикой, с войнами, абсурдностью рекламы, старением городов и идеологией роста,

впадало в скепсис, но надежды большинства людей были связаны с разработкой новых источников энергии¹.

В начале 70-х годов затраты энергии на получение энергии во многих странах настолько увеличились, что многие отрасли производства стали испытывать недостаток энергии. Коль скоро недостаточность энергии стала остро ощущаться, страны, обладавшие богатыми запасами минерального топлива, получили возможность повысить цены — цены на нефть возросли в 4 раза в период спада 1973 г. Страны, которые должны были покупать ископаемое топливо, столкнулись с тем, что количество полезной энергии, обеспечивающей их богатство и рост их экономики, резко уменьшилось. Замедление и прекращение роста характерно для всех стран, кроме тех, которые богаты энергетическими ресурсами. В экономике, международных отношениях и жизни человека произошли большие изменения.

Резкое повышение цен на нефть совпало с решением стран — экспортеров нефти уменьшить ее добычу. Это привело к сокращению потребления нефти в других странах. Стало все труднее обеспечивать топливом автомашины и поддерживать зимой нормальную температуру в жилых помещениях.

Энергетический кризис сочли временным явлением, нехваткой энергии, искусственно вызванной монополиями. В странах — потребителях нефти были введены меры по ограничению потребления нефтепродуктов, по его нормированию, созданы правительственные учреждения, призванные осуществлять контроль за потреблением энергии и ростом расходов на исследования и разработку новых источников энергии. Большинство граждан не понимали

¹ Авторы книги, защищая неомальтузианские идеи, пытаются доказать, что энергетический кризис в США был обусловлен повышением цен на нефть. Они забывают о том, что американские нефтяные монополии искусственно создают нехватку топлива и взвинчивают на него цены, увеличивая свои барыши. Так, с 1972 по 1976 г., т. е. в период обострения энергетического кризиса, прибыли нефтяных компаний увеличились в три раза. Иными словами, основная причина энергетического кризиса, развернувшегося в США и других капиталистических странах, заключается в социальной структуре, когда природные ресурсы страны хищнически эксплуатируются гигантскими нефтяными монополиями, отсутствуют демократические механизмы контроля над использованием энергии топливных ресурсов на благо всего народа. — *Прим. ред.*

связи между экономическим спадом и положением дел в энергетике. Во многих отраслях экономики сохранилось стремление поддержать рост, хотя уже стало ясно, что ныне легкодоступные энергетические источники роста исчерпаны. Правда, в конце концов люди осознали значение энергетического фундамента для всей общественной жизни и стали размышлять о том, какое будущее их ждет, если источники энергии все менее и менее доступны.

Ошибочные представления об энергии

Многие люди и деятели правительства не только США, но и других стран не верят в то, что ныне не хватает энергоресурсов. Они полагают, что сокращаются лишь производственные процессы переработки нефти, объем разведочных работ, угледобыча и другие отрасли производства, связанные с эксплуатацией неограниченных, по их мнению, энергетических ресурсов. Эти ошибочные представления объясняются рядом причин:

1. Экономисты полагали, что любую нехватку энергии можно преодолеть, повышая цены на топливо. Большинство экономистов не обладают достаточной подготовкой для того, чтобы анализировать проблемы энергетике, не понимают существо 2-го закона энергии и то, что энергия может быть использована только один раз. Нередко экономические советники правительства рекомендуют повышение цен как путь стимулирования экономики, считая, что высокие цены на топливо приведут к устранению нехватки энергии. Они не отдают себе отчета в том, что рост потребления энергии происходит без всякого учета достигнутого объема ее производства.

2. Хотя большинство людей в процессе обучения и получает общее представление о сущности и видах энергии, однако они не задумываются о том, что эти виды энергии существенно различаются между собой по способности производить полезную работу. Многие ученые и инженеры предлагали использовать громадное количество солнечной энергии, ежедневно поступающей на Землю, и выдвигали различные технологические проекты ее аккумуляции. Но все они не понимают того, что большая часть солнечной энергии будет затрачена на ее концентрацию. Слепая вера в технический прогресс приводила к некритической уве-

ренности людей в том, что возможности открытия новых источников энергии и их эксплуатации безграничны.

3. На многих американцев производят большое впечатление оценки потенциальных запасов нефти и угля. Эти запасы оценивались очень высоко — это, мол, «источники на сотни лет». Некоторые из этих оценок основывались на том, что в расчет принималась вероятность открытия новых месторождений исходя из данных геологической разведки. Однако если учесть геологическую структуру еще не исследованных территорий, то вероятность открытия новых месторождений ископаемого топлива снизится. Кроме того, большинство этих оценок основано на предположении, что качество угля глубокого залегания не уступает качеству угля из месторождений, близких к поверхности Земли, а качество нефти, добытой далеко в море, не уступает нефти, добытой из прибрежных источников. Поэтому в этих оценках не учитывается высокая стоимость специальных технологических процессов, необходимых для эксплуатации этих месторождений. Эксплуатация некоторых из них не дает прироста полезной энергии.

4. Поколение, на протяжении жизни которого появились автомобильный транспорт, авиация, телевидение, была осуществлена высадка человека на Луну, уверено в безграничности человеческой изобретательности. Большинство людей думают, что развитие техники определяет все и вся. Инженеры и представители технических наук пытались предостеречь нас, но веру людей, несведущих в науке, победить нелегко. Журналисты, профессиональные политики и экономисты зачастую просто не верят тем, кто пытается объяснить, что нехватка энергии накладывает ограничения на развитие техники. Техника XX в. основана на различном технологическом применении энергии минерального топлива. Нехватка энергии означает, что возможности развития техники сокращаются. Многие специалисты стремятся изыскать дополнительные денежные средства на проведение научных исследований и разработку новых технологических процессов, основанных на использовании различных видов энергии. Об интересах широких кругов населения при этом не задумываются, а тех, кто указывает на ошибочность расчетов, называют «пораженцами».

5. Когда повышение цен на нефть привело к росту производства энергии, многие пришли к выводу, что их неве-

рие в истощение энергетических ресурсов было вполне обоснованным. Инфляция, вызванная повышением цен на топливо, не соединялась большинством людей с нехваткой энергии. Чем сильнее инфляция потрясала экономику, тем больше внимания сосредоточивалось на экономике вместо того, чтобы обратиться к основной ее причине — возрастанию энергетических затрат на получение энергии.

6. Повышение цен на топливо привело к тому, что страны, располагавшие большими запасами нефти, стали продавать ее по ценам, значительно превышавшим затраты на ее добычу. Прибыль, получаемая в топливной промышленности, резко увеличилась. Широкие круги населения усмотрели в этом доказательство того, что нехватка энергии — фикция, выдвинутая ради получения прибыли за чужой счет.

7. Многие люди полагали, что растущие потребности в энергии обеспечит ядерная энергия. Взрывы атомных бомб продемонстрировали громадную энергетическую мощь ядерных реакций. Огромная армия ученых-оптимистов приступила к разработке и строительству атомных реакторов, к 1975 г. было создано 100 больших атомных электростанций. К усилиям в этой области были привлечены крупные интеллектуальные силы и большие капиталы; исследованиям в этой области были предоставлены энергетические привилегии. Оптимистически настроенные физики, инженеры и экономисты забывают о больших энергетических затратах, связанных с использованием атомной энергии в мирных целях. В своих расчетах они вообще не учитывают те скрытые затраты энергии минерального топлива, которые связаны с использованием ядерной энергии. Широкие круги общественности не располагали данными, которые позволяли понять, что ядерная энергия — не такое уж богатство, если учесть все действительные затраты. Ведь большая часть производимой атомной энергии должна быть направлена на обеспечение контроля многообразных процессов, происходящих в реакторах, и только небольшая оставшаяся часть энергии, выработанной АЭС, направляется на удовлетворение потребностей человека.

8. Идея о том, что рост экономики необходим для процветания общества, укоренилась в сознании населения промышленно развитых стран. Лидеры этих стран редко говорят о возможности прекращения роста, снижения активностей стран, уменьшения энергетических потоков и снижения

экономического уровня в целом. По их мнению, тот, кто считает нехватку энергии реальным явлением, тот отстаивает необходимость застоя, заката и гибели этих стран. То, что благополучие возможно и без расширения экономики, как правило, вообще ими не допускается.

9. Из-за сложной взаимосвязи энергетических потоков большинство людей не может понять действительного уровня затрат на производство энергии, считая их незначительными, поскольку непосредственно оплачиваемая ими энергия невелика. Так, обычно думают, что затраты на топливо составляют не более 10% личного бюджета, стоимость сырой нефти — это лишь небольшая часть этих затрат. Это мнение ошибочно, так как потребление современного человека связано с использованием различных видов топлива, и поэтому затраты, связанные с ним, гораздо выше. Человек не осознает того, что в конечном счете вся его жизнь основана на использовании энергии, цена на которую может подняться. Чем больше промежуточных звеньев между предметами потребления и нефтью в цепи преобразования энергии, тем больше цена предметов потребления останется на прежнем уровне. Но чем длиннее эта цепь, тем большее число товаров объединено ею и тем выше стоимость каждого ее звена. Наконец, рост затрат на топливо коснется и поставщиков нефти, которые вновь повысят цены. Страны, поставляющие минеральное топливо, вынуждены поднимать цены на него всякий раз, когда увеличиваются затраты на его добычу. Повышение цен на минеральное топливо связано и с ростом цен на импортируемые в эти страны товары. Незначительный на первых порах рост цен на топливо вводит в заблуждение.

10. Многие экономисты публично заявляли, что рост цен на нефть — временное явление. Они были уверены в том, что в конце концов перераспределение доходов между странами — импортерами и экспортерами нефти не приведет к уменьшению покупательной способности населения. Они не понимали, что затраты на добычу нефти по сравнению с затратами на производство предметов потребления постоянно растут, что оказывает громадное обратное воздействие на добычу нефти. Поставщики нефти, худшей по качеству, стремятся установить более высокие цены, с тем чтобы возместить свои затраты. Эти поставщики не обогащаются и в конце концов вынуждены отказаться от эксплуатации этих месторождений, поскольку их энергетические

издержки выше уровня произведенной энергии. Поставщики нефти, добытой из месторождений, находящихся вблизи поверхности Земли, получают прибыль, могут повысить цену на нефть и обеспечить тем самым рост экономики.

Волна инфляции

Рост цен на нефть в 1973 г. привел к резким изменениям в экономике, для которой на протяжении длительного периода была характерна тенденция к снижению затрат на энергию. Индекс инфляции, составлявший 5% в год, подскочил на 10%, и даже более. В некоторых странах, полностью зависящих от арабской нефти, индекс инфляции поднялся до 25%. Первой реакцией правительств на инфляцию было выдвижение общенациональных проектов по увеличению производства энергии и повышению производительности труда. Это привело к увеличению массы денежных средств, находящихся в обращении, и уменьшению покупательной способности населения.

Рост издержек на импорт нефти означает, что все большее количество энергии, затраченной на производство товаров, обмениваемых на нефть, уходит за границу. Поэтому величина полезной энергии в США уменьшилась, что вызвало замедление оборачиваемости денег внутри страны. Доллар терял свою покупательную способность, т. е. обесценивался. Более высокие цены на топливо сделали прибыльными разведку и добычу нефти месторождений, находящихся на большой глубине или далеко от берега. Были предприняты новые усилия по промышленной разработке этих месторождений. Поскольку эксплуатировались худшие месторождения, это приводило к тому, что затраты энергии на нефтедобычу — на строительство стальных сооружений и трубопроводов, на ремонт, связанный с повреждениями во время шторма, — увеличились. Теперь эксплуатация нефтяных месторождений дает меньше полезной энергии, чем раньше, масса денежных средств, находящихся в обращении, осталась неизменной или даже увеличилась. Рост инфляции продолжался из-за роста затрат на получение энергии. Вся полезная энергия, направлявшаяся ранее на рост американской экономики, идет теперь за границу и обеспечивает процветание стран, богатых нефтью, или нефтяных компаний. Полезная энергия

расходуется на постройку или закупку чрезвычайно дорогостоящего оборудования, необходимого для добычи нефти в море, для глубинного бурения.

Перераспределение активов

Запасы минерального топлива, разрабатываемые в наши дни, становятся менее концентрированными, их эксплуатация все менее выгодна, так как начинают эксплуатироваться месторождения, которые находятся на большой глубине, далеко от берега и все дальше к северу. Значительная часть полученной энергии прямо или косвенно возвращается в энергетическую промышленность и идет на производство энергии. На развитие других отраслей экономики остается с каждым годом уменьшающаяся сумма денежных средств. Это положение схематически изображено на рис. 106.

В первом случае (см. рис. 106а) незначительная доля денежных средств и активов направлена на развитие энергетической промышленности и гораздо большая — на развитие решающих отраслей экономики. При этом эксплуатация крупных месторождений минерального топлива обеспечивает вложение денежных средств в решающие отрасли экономики и косвенным образом (через механизмы обратной связи) часть этих средств направляется на максимальное использование в сельском и лесном хозяйстве солнечной энергии (см. линию F).

Во втором случае (см. рис. 106b) схематически изображена ситуация, характерная для тех стран, которые обладают ресурсами ископаемого топлива низкой концентрации и сталкиваются с большими трудностями при эксплуатации этих месторождений. Большая часть средств этих стран направляется на развитие энергетической промышленности, на создание промышленности, выпускающей оборудование для добычи нефти, для строительства АЭС. Вся экономика подчинена этому. Незначительная часть произведенной энергии направляется на развитие основных отраслей экономики и сферы личного потребления. Может сложиться такое положение, что развитие энергетической промышленности не приведет к выходу полезной энергии. Неэффективность этой отрасли промышленности может быть возмещена ростом продуктивности решающих отраслей экономики, ростом, связанным с дополнительными вло-

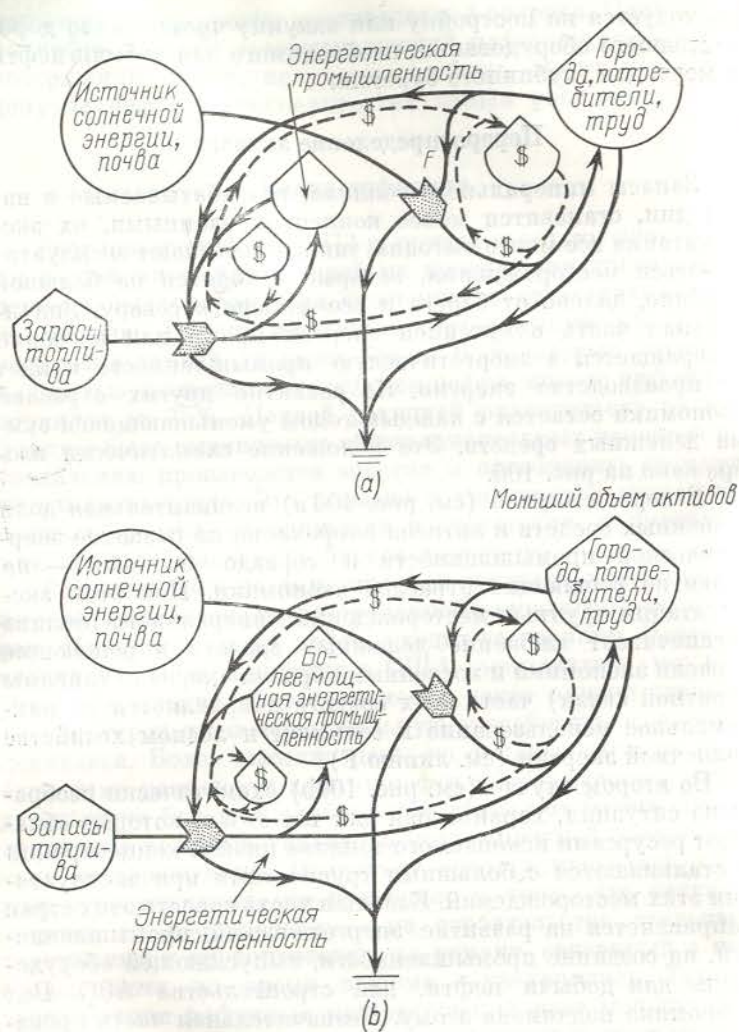


Рис. 106. Воздействие концентрации энергии на соотношение активов энергетической промышленности и остальных отраслей экономики.

а) При высокой концентрации энергии большая часть полезной энергии направляется в решающие отрасли экономики. б) При низкой концентрации необходимы большие затраты на производство энергии и незначительное количество полезной энергии поступает в основные отрасли экономики.

жениями денежных средств и с максимальным использованием солнечной энергии в сельском и лесном хозяйстве. Солнечная энергия — это постоянный поток возобновимой энергии. В 1974 г. активы энергетической промышленности, прибыли нефтяных компаний резко увеличились.

Ошибочность лозунга «немедленной независимости от внешних источников энергии»

Первым результатом осознания того, что запасы нефти в США недостаточны, было выдвижение общенационального проекта, поставившего целью скорейшее достижение независимости от иностранных источников энергии. Те, кто защищал этот проект, обосновывали его тем, что единственным препятствием достижения независимости является нехватка промышленного оборудования для переработки минерального топлива. До сих пор широко распространено мнение о том, что энергии вполне достаточно, не хватает лишь очистительных установок, нефтяных вышек, угольных шахт и т. д. Сторонники этого проекта полагали, что более высокие цены на нефть дадут энергетической промышленности необходимые денежные средства и достаточное количество потребляемой энергии¹.

По нашему мнению, усилия, предпринимаемые странами, испытывающими нехватку энергии, по развитию своей энергетики, наоборот, приведут лишь к росту потребления энергии. Став независимыми от иностранных источников энергии, эти страны могут гораздо быстрее истощить свои ресурсы минерального топлива и оказаться в еще большей зависимости от стран-поставщиков нефти. Политика, ставящая во главу угла достижение независимости от внешних энергоисточников, по сути дела, отбрасывает экономику назад: те страны, которые начнут следовать этой политике, могут обрести независимость сейчас и оказаться более зависимыми позже. Так как иностранная нефть —

¹ Речь идет о «проекте независимости», выдвинутом в 1973 г. федеральным правительством США и имевшем целью покончить с зависимостью американской экономики от стран-поставщиков энергии. Встретив противодействие со стороны нефтяных монополий, эта многообещающая программа, по сути дела, осталась на бумаге. — Прим. ред.

это нефть высокого качества, она используется в первую очередь в пику политике развития национальной энергетики.

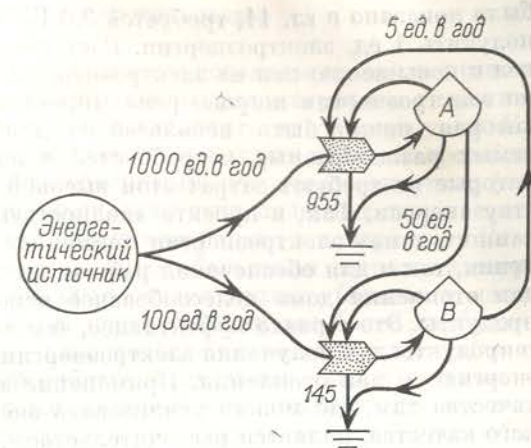
Военное вмешательство в борьбе за энергию

Некоторые политические деятели, обсуждая пути преодоления энергетического кризиса, отстаивали необходимость военного вторжения на территорию стран — поставщиков нефти, с тем чтобы обеспечить контроль за ростом цен на энергию. Однако военная мощь стран — потребителей нефти недостаточна для того, чтобы быть уверенным в успешности военного вмешательства. Эта уверенность становится еще меньшей, если принять во внимание наличие других военных блоков в мире. Существование ядерного оружия и опасность того, что издержки на военное вмешательство превысят реальную мощь страны, ставят под вопрос подобное решение. Уменьшение полезной энергии, добываемой в той или иной стране, ведет к уменьшению энергетических затрат, необходимых для осуществления военных акций. Страны, слабые в энергетическом отношении, не могут воевать с энергетически развитыми странами или угрожать им. Безопасность энергетически слабо развитых стран связана с сохранением энергии в целях обороны. Эта политика должна осуществляться до тех пор, пока энергетические ресурсы других стран не истощатся. Лучшее решение, обеспечивающее благополучие и стабильность всех стран, — перераспределение энергии.

Неправильные исчисления энергетических затрат

При оценке потребности тех или иных стран в энергии необходимо учесть затраты большого количества энергии, используемой в технологических процессах, в том числе энергии минерального топлива. Однако необходимые для функционирования энергетики другие товары и услуги обычно не измеряются в энергетическом выражении и поэтому не включаются в эти оценки. Тот, кто игнорирует энергетические затраты на производство товаров и развитие услуг, забывает, что эти отрасли производства потребляют энергию высокого качества. Высококвалифицированный труд, например, педагога, связан на первый взгляд с незначительными затратами энергии. Однако если проследить все потоки энергии, обеспечивающие функциониро-

Рис. 107. Каждая из двух отраслей промышленности А и В получает продукцию другой. Хотя потоки энергии на входе системы кажутся весьма различными, если рассматривать потоки энергии низкого качества, однако анализ системы в целом показывает, что энергетические потребности обеих отраслей одинаковы. Прямые потоки поступающей энергии вводят в заблуждение.



вание системы образования, то нетрудно обнаружить, что затраты энергии здесь поистине огромны.

На рис. 107 схематически изображены две отрасли экономики, каждая из которых потребляет продукцию другой и дополняет ее. При поверхностном анализе этой диаграммы можно прийти к ошибочному выводу, что затраты энергии в первой отрасли выше, чем во второй; на деле же энергетические потребности обеих отраслей одинаковы. Функционирование и той и другой отрасли связано с равными затратами энергии.

Существует еще одна ошибка при оценке затрат энергии, а именно утверждение о том, что все виды энергии равны. На деле же производство энергии высокого качества предполагает гораздо большие затраты энергии низкого качества. Тот, кто уравнивает электроэнергию и энергию, получаемую при сжигании угля, делает серьезную ошибку, так как производство электроэнергии требует в 3,6 раза больше энергетических затрат, чем добыча угля.

Электроэнергия и электростанции

Многие люди видят в электроэнергии лишь источник потребляемой энергии, однако электроэнергия — это энергия высокого качества, и притом не единственная. Как уже

было показано в гл. 14, требуется 3,6 ЕУТ, для того чтобы получить 1 ед. электроэнергии. Рост цен на топливо привел к повышению цен на электроэнергию. Еще не так давно электроэнергия широко рекламировалась как энергия, которая может быть использована для удовлетворения самых разнообразных потребностей человека, даже тех, которые не требуют затрат этой высокой по своему качеству энергии. Так, в проекте «полностью электрифицированного дома» электроэнергия применялась как для отопления, так и для обеспечения работы электроприборов. Но для отопления дома целесообразнее использовать нефтепродукты. Это гораздо эффективнее, чем использовать нефтепродукты для получения электроэнергии и затем электроэнергию — для отопления. Применение энергии высокого качества там, где можно утилизировать энергию более низкого качества, является расточительством. Повышение цен на топливо осложнило жизнь в таких полностью электрифицированных домах — многие жильцы вынуждены были сократить потребление энергии или перейти к использованию менее дорогостоящих отопительных систем.

Государственные и частные компании коммунального снабжения, стремясь удовлетворить повышающийся спрос на энергию, строили электростанции. Это отрасль, стимулирующая рост, так как она развивала средства роста и тем самым новые отрасли экономики, вовлекала в производство активное население. Когда же эти компании попытались поднять цены на электроэнергию, потребление ее сократилось и спрос снизился. Следовательно, компании коммунального снабжения перестали получать денежные средства, необходимые для своего расширения; отсутствие капиталов приводило к тому, что эти компании не могли найти кредитов. Иначе говоря, не создавалась полезная энергия, которая обеспечивает денежными средствами и энергией дальнейший рост. Рост этой отрасли экономики планировался за счет развития атомной энергетики, которая, как предполагалось, компенсирует недостаток минерального топлива. Но так как существующие в данное время электростанции не давали полезной энергии, не было и средств для получения ядерной энергии. В 1974 г. в США только 5% электроэнергии было получено на атомных электростанциях. Энергия атомных электростанций не компенсировала снижение полезной энергии, получаемой при использовании минерального топлива.

Нехватка сырья

В этой книге такие полезные ископаемые, как железная, медная и алюминиевые руды, мы рассматриваем аналогично минеральному топливу как энергетические ресурсы. Их использование при производстве тех или иных товаров всегда связано с определенными затратами энергии (см. рис. 90). Если месторождения этих полезных ископаемых являются крупными и залегают близко к поверхности Земли, то их добыча не связана с большими затратами энергии, а их энергетическая отдача велика. Однако в наши дни эксплуатируются месторождения все более глубокого залегания, а руды становятся беднее. Поэтому добыча, обогащение и переработка этих видов сырья связаны с большими затратами минерального топлива. До тех пор пока запасы минерального топлива были в избытке, объем этих энергетических затрат не был замечен. Теперь же, когда источники минерального сырья становятся все более труднодоступными и когда энергия минерального топлива, необходимая для переработки этого сырья, становится все более дорогостоящей, ограниченность ресурсов полезных ископаемых стала очевидной для всех. Повышение цен на топливо ведет к росту цен и на виды сырья, потому что производство таких материалов, как сталь, медь, бетон, связано с затратами большого количества энергии.

Иногда все трудности, возникающие в наши дни, объясняют нехваткой сырья. Но реальная проблема заключается в нехватке энергии, поскольку бедные руды представляют собой энергию низкого качества, оставшиеся ресурсы сырья и топлива низки по уровню полезной энергии, заключенной в них. Снижение потребления энергии из-за общего спада деловой активности может привести к излишку энергии и тем самым к снижению цен, но лишь на какое-то время. В конечном счете рост энергетических затрат, необходимых для получения энергии, будет характерен для всей экономики.

Ставка учетного процента и кредит

В гл. 9 мы показали, что отсутствие полезной энергии и роста экономики приводит к сокращению кредита. Кредит перестает быть стимулятором роста производства, если отсутствует полезная энергия. Если нет роста производства, нельзя погасить ссуды, а если ссуды не погашаются

с определенным процентом, они не выдаются. Деньги, которые не пущены в оборот, обесцениваются из-за инфляции. Ставка учетного процента должна быть равна уровню инфляции (для сохранения стоимости) плюс некоторая надбавка (прирост денег). Если производится незначительное количество полезной энергии, кредит нельзя оказывать и кредитор обанкротится (т. е. кредит никогда не будет погашен). Если при этом существуют инфляционные процессы, тогда процент должен быть еще более высоким, а вероятность погашения кредита уменьшается. Рост обычно сопровождается поисками кредитов, обеспечивающих начало новой деловой активности. Примером этого может служить банкротство, угрожающее в наши дни городскому управлению Нью-Йорка.

Кредит, ссужаемый банками, — это деньги вкладчиков, которым банки выплачивают 4—5% годовых. Ссужая эти деньги, банки получают более высокий процент. Если индекс инфляции превышает процент, выплачиваемый банком, банки не могут возратить ссуды. Вместо того чтобы вкладывать средства в банк, люди будут покупать товары и услуги, степень обесценения которых меньше индекса инфляции.

Средства для кредита поступают также из общенациональных и международных банков, но если состояние платежного баланса страны неблагоприятно, большая часть этих денег уходит за границу и не может быть использована внутри страны. Инфляция и неблагоприятный платежный баланс, связанные с нехваткой энергии, также кладут предел кредитам и росту экономики. Это легче увидеть, если сопоставить денежные и энергетические потоки (см. рис. 17 и рис. 73). Эти схемы составлены при допущении, что в настоящий период поток поступающей энергии в производство сужается, а поступление денег остается тем же или возрастает.

Ценные бумаги

Корпорации и правительство выпускают ценные бумаги, с тем чтобы найти средства для финансирования новых проектов, например строительства электростанций. Ценные бумаги корпораций — это акции. Государство выпускает облигации, обещая позднее возратить эту сумму денег с определенным процентом. Государственные облигации могут освободиться от налога и поэтому могут

приносить годовой процент на несколько пунктов больше номинала. Ценные бумаги являются средством расширения капитала. В период роста держатели ценных бумаг рассчитывают получить на них прибыль; они полагают, что деньги принесут деньги, и берут акции в расчете, что так будет всегда.

Если величина производимой полезной энергии незначительна, то рост экономики невелик и прирост денег также невелик. И конечно, не имеет смысла держать бумаги, которые теряют свою стоимость. В этом случае люди стремятся продать, а не купить ценные бумаги, и их стоимость на рынке падает все ниже и ниже. Компании и правительство пытаются продать ценные бумаги и не могут этого сделать, т. е. они не могут собрать капитал, необходимый для реализации новых проектов. Рост капитала невозможен, так как в конечном счете они не могут получить энергию, необходимую для роста экономики.

Разработка новых источников энергии

Непосредственной реакцией правительства на энергетический кризис была разработка проектов, предлагающих расширить производство энергии с помощью развития атомной энергетики, эксплуатации нефтяных месторождений глубокого залегания. Однако снижение производства полезной энергии, связанное с уменьшением импорта топлива (вследствие повышения цен на импортируемую нефть и сокращения полезной энергии, направленной на разработку наших собственных, менее богатых ресурсов), ведет к замедлению темпов роста экономики и капиталов. Поэтому новые дорогостоящие проекты не могут быть осуществлены. Определенная прибыль получается из-за повышения цен на нефть, но она быстро расходуется на закупку стали и других материалов, как только цена на эти материалы повышается, что свидетельствует об увеличении затрат энергии на их производство. Капиталы направляются в горнорудную промышленность, а не в сферу потребления (рис. 106). В тех случаях, когда капиталы направляются на развитие нефтедобывающей или горнорудной промышленности, они уже не могут быть использованы на строительство энергопредприятий вдали от эксплуатируемого источника минерального топлива. Компании, снабжающие

потребителей электроэнергией, из-за больших затрат энергии и снижения спроса на нее отказываются от строительства новых станций.

Бюджеты личного потребления

Повышение цен на топливо, оказавшее отрицательное воздействие и на производство энергии, и на экономику в целом, и рост инфляции привели к уменьшению количества энергии, идущей на удовлетворение индивидуальных потребностей. На первых порах этот процесс не вызвал особого беспокойства. Многие люди думали, что рост их доходов и заключение ими новых, более выгодных трудовых договоров позволит поддержать на неизменном уровне их покупательную способность. Это обычный путь в условиях, когда страна обладает большими энергетическими возможностями. Однако вскоре обнаружилось, что чистые доходы компаний и налоговые поступления в бюджеты округов, штатов и правительства стали ниже уровня, который был достигнут до того, как замедлились темпы роста экономики. Приведенные схемы иллюстрируют простую истину: нехватка полезной энергии — причина дефицита всех товаров, необходимых для удовлетворения потребностей человека. Контроль над всеми экономическими процессами осуществляется энергией.

Размещение капитала стран, богатых нефтью

Главный вопрос состоит в том, возвратятся ли денежные накопления стран, богатых нефтью, в промышленно развитые страны. Если возвратятся, то страны Запада, экономика которых основывается на импорте нефти, продолжат свой рост, правда, контролировать этот рост будут арабские страны. Фактически средства поступают из стран Арабского Востока, но по многим причинам этих средств недостаточно для продолжения роста промышленно развитых стран. Эти причины таковы:

1. Иностранные инвесторы обеспокоены возможностью конфискации. Существует шутка на этот счет: давайте продадим «Дженерал моторс» арабским странам, а затем национализируем ее. Полная национализация вряд ли возможна в США, но регулирование прибылей и определенная

финансовая политика могут привести к тем же результатам.

2. Если капиталы вкладываются за пределами арабских стран, то произведенная полезная энергия способствует развитию той страны, в экономику которой она вкладывается. Это, правда, расходится с национальными интересами и стремлением правительства контролировать инвестиции в другие страны.

3. Чтобы защитить свои капиталы от обесценения в результате инфляции и девальвации, арабские страны могут размещать их за границей, но при условии получения определенной прибыли. И конечно, размер этой прибыли должен быть выше, чем индекс инфляции. Но страны Запада, для которых характерен рост цен и исчерпание энергетических ресурсов, не могут брать кредиты на таких условиях — в противном случае они обанкротятся. Несколько крупных фирм, получивших кредиты, уже обанкротились, хотя они предпринимали все необходимое, чтобы избежать этого.

4. Рост промышленных стран прекращается, полезная энергия не производится и возможность получения прибыли исчезает. Такой экономический климат в промышленно развитых странах не благоприятствует вложению в них капиталов.

5. Перед странами, экспортирующими нефть, более благоприятные перспективы. Они могут вложить полученные денежные средства на закупку и ввоз техники, оборудования, сырья, воды и др. Это уже делается рядом арабских стран. Многие арабы получают образование за границей и возвращаются на родину техническими специалистами. Складывающееся ныне положение дел можно сравнить с периодом расцвета Римской империи, когда большую часть знаний римляне «импортировали» из Греции.

6. Стремясь избежать банкротства, арабские страны направляют часть своих богатств на развитие ядерной энергетики. Однако снабжение их ураном небезопасно, а энергетический выигрыш от атомных электростанций не очевиден, как мы уже отмечали в гл. 11.

7. Перед лицом постоянной опасности вооруженного вторжения и захвата нефтяных месторождений нефтедобывающие страны вкладывают значительные средства в военную промышленность. Они покупают оружие у

стран Запада, в том числе атомное оружие. Все страны, естественно, обеспокоены тем, что конфликт в этом регионе, в настоящее время интенсивно развивающемся, может вовлечь мир в ядерную войну.

Инфляция и безработица

На протяжении последних десятилетий инфляция в США сознательно поддерживалась на определенном уровне (несколько процентов), так как инфляция стимулировала рост производства полезной энергии и тем самым способствовала увеличению занятости. Эти же результаты могут быть достигнуты с помощью налогообложения и вкладывания полученных средств в развитие экономики. Освобождение частных компаний от налогов на кредит приводит к росту инфляции, так как масса денежных средств, находящихся в обращении, увеличивается в более быстрых темпах, чем производство новой энергии. Дефицит в денежных средствах аналогичен налогообложению, так как, содействуя строительству новых предприятий, население той или иной страны все же снижает уровень достигнутой покупательной способности. Если новые предприятия обеспечивали производство энергии, то некоторая ее часть направлялась на поддержание энергетики и тем самым на обеспечение конкурентоспособности экономики в целом.

Если из-за роста инфляции новая энергия не производится, то уровень занятости не изменяется и благосостоянию всех граждан наносится большой ущерб¹. Каждый человек облагается новыми налогами, но полученные деньги вкладываются в непроизводительные и бесполезные для человека отрасли производства.

Больше всего экономисты опасались увеличения безработицы, помня о разрушительной депрессии 1929 г., приведшей к нарушению денежного обращения, несмотря на то что уровень производства был высоким. Они считали, что стимуляция деловой активности с помощью кредитов и рост кредитов приведут лишь к массовой безработице.

Однако условия в 1970 г. были иными: инфляция была вызвана дефицитом энергии. Так как денежные средства,

¹ Это неверно, ибо инфляция бьет по карману прежде всего низкооплачиваемых наемных рабочих. — *Прим. ред.*

изъятые из обращения, обесценивались, люди стремились к быстрому расходованию, а не накоплению денег. Даже банковские депозиты ежегодно обесценивались. Следовательно, большие суммы денег вкладывались в закупку продуктов питания, сельскохозяйственных угодий и т. д. В результате этого денежное обращение осуществлялось достаточно эффективно даже в условиях обесценения денег. В общем, затраты энергии на развитие машиностроительной промышленности снизились. В таких энергетически емких отраслях экономики, как сельское хозяйство, жилищное строительство и добыча полезных ископаемых, наблюдалась тенденция к уменьшению использования техники, основанной на ископаемом топливе, и все в большей мере применялся ручной труд.

Однако уменьшение производства энергии ведет к снижению уровня занятости в других отраслях экономики. Эти изменения схематически представлены на рис. 105а и 105б. Безработица среди высококвалифицированных специалистов и лиц, занятых в энергетически развитых отраслях экономики, растет. Нехватка рабочих мест привела к вытеснению рабочих низкой квалификации рабочими более высокой квалификации. Число рабочих мест схематически изображено на правой стороне энергетической цепи (см. рис. 105б). Оно велико, но число рабочих мест на левой стороне гораздо больше. Если уменьшить число применяемых в сельском хозяйстве машин, это может увеличить число рабочих мест. Однако эта возможность не может реализоваться до тех пор, пока не изношены уже существующие машины.

Защита окружающей среды

За несколько лет до наступления энергетического кризиса внимание к проблемам охраны окружающей среды усилилось. Все американцы осознали то, что необходимо свести к минимуму ущерб, наносимый системам нашего жизнеобеспечения. В это время США продолжали развивать топливную и ядерную энергетику и увеличили затраты энергии на защиту окружающей среды. Было создано Управление по охране среды (УОС) и принято законодательство, обязывающее увеличить энергию, используемую для охраны природы. Но по мере развития промышленности, обеспечивающей защиту окружающей среды, увеличивался и уровень загрязнения среды, и УОС не могло опре-

делить, следует ли защищать окружающую среду от человека или же защищать человека от воздействия окружающей среды. Ранее уже было показано, что приспособление человека и природных экосистем к изменившимся условиям, к уменьшению поступающей энергии, связано с использованием переработанных отходов в качестве ценного источника энергии.

Во многих отношениях энергетическая промышленность и экономика находятся в конфликте с окружающей средой. Ранее уже было подчеркнуто, что и энергетика, и экономика, и окружающая среда представляют собой компоненты единой системы. Для того чтобы выжить, человек в своей экономике должен оптимально использовать ресурсы окружающей среды. Иными словами, экономика и окружающая среда находятся в симбиотическом отношении друг с другом. Выбор мер, оказывающих глобальное энергетическое воздействие, в том числе и на экосистемы, предполагает оценку объема произведенной полезной энергии.

Уголь и нефть с большим содержанием серы

Сжигание топлива связано с выбросами кислотосодержащих газов. Наибольшей коррозионностью из них обладает серная кислота, которая образуется при взаимодействии двуокиси серы — продукта сгорания топлива — с водой. Большинство людей знает, что серная кислота разъедает одежду, разлагает известь и обжигает кожу, оставляя медленно заживающие рубцы. Во всех промышленно развитых районах выпадают кислотосодержащие осадки.

Для того чтобы снизить содержание паров серной кислоты и тем самым уменьшить коррозию металлов, опасность для здоровья человека, необходим уголь и нефть с низким содержанием серы. Но топливо с низким содержанием серы редкое и дорогостоящее топливо. Нефтепродукты вытеснили уголь в качестве топлива отчасти именно из-за того, что уголь содержит серу. По мере того как нехватка энергии и инфляция оказывали все большее воздействие на экономику, люди изменили свое отношение к использованию топлива с высоким содержанием серы.

Необходимо решить вопрос о том, что же более важно — рост общественных затрат энергии, связанный с переводом производства на топливо с низким содержанием серы (топливо измеряется в энергетических показателях, денежное

выражение можно представить как способность приобрести то или иное количество энергии) или же негативное воздействие серных примесей на материальные ценности, почву и здоровье человека (также измеренное в энергии). Подобная оценка уже производится. Конечно, в густонаселенных городах, особенно там, где в строительстве используется известняк (например, в Венеции), использование топлива с низким содержанием серы окупает рост затрат. В периферийных районах и районах, почва которых содержит элементы, нейтрализующие кислоты, использование топлива с высоким содержанием серы может иметь менее губительные последствия.

Угледобыча (см. рис. 78)

Поскольку уголь до сих пор остается одним из важнейших источников полезной энергии, в связи с необходимостью охраны окружающей среды возникает следующий вопрос: целесообразно ли в широких масштабах добывать уголь открытым способом. Иначе говоря, следует оценить ущерб, наносимый сельскохозяйственным угодьям разрушением структуры почвы. Пласты угля разной толщины залегают под слоями других пород. Слои почвы, покрывающие уголь, вскрываются и сдвигаются в сторону. Затем это месторождение угля начинает разрабатываться и уголь транспортируется на предприятия. Этот способ угледобычи исключает большие участки земли из производственного использования (сельскохозяйственного, мелиоративного, транспортного и т. д.). После этого остаются горы камней и песка. Для восстановления плодородия и структуры почв, гидрологических процессов и растительности, для повышения организации экосистем и обеспечения их нормального функционирования необходимо время. Однако часть полученной этим путем энергии может быть вновь направлена на регенерацию почвы, на восстановление растительности, развитие сельского хозяйства и т. д. Если работы по восстановлению этих участков производятся вместе с разработкой месторождений угля, то восстановление благоприятной для сельского хозяйства геологической структуры почв идет гораздо быстрее.

Если же вскрываются большие пласты земли, то для восстановления почв необходимы большие затраты труда и

энергии, поэтому полезная энергия вообще не вырабатывается.

В этом случае, когда затраты энергии на получение энергии, производство стали, разработку технологии и т. п. растут, применение машин в угледобыче перестанет быть эффективным и люди будут вынуждены возвратиться к старым, менее энергоемким средствам угледобычи.

Эксплуатация угольных месторождений, т. е. минерального топлива с высокой концентрацией энергии, глубокого залегания приводит к выработке полезной энергии, если использовать шахтный метод добычи. Этот способ угледобычи также связан с большими затратами энергии, включая затраты на мероприятия по технике безопасности, медицинское обслуживание, на устранение аварий, на строительство шахт и пробивку штолен.

Нельзя рассчитать объем производимой энергии и все необходимые затраты до того, как будет выбран метод и место угледобычи. Затраты энергии включают также затраты, связанные с отвалом пустой породы в терриконы, с устранением обвалов и осуществлением дренажных работ. Повышение цен на топливо стимулирует рост угледобычи, однако затраты энергии увеличиваются, поскольку повышаются требования к охране среды и здоровья человека. Кроме того, еще до прошлого столетия сохранялись девственные леса, обеспечивавшие шахты крепёжным материалом. Теперь же эти вековые леса исчезли. Поэтому необходимы дополнительные затраты энергии на обеспечение шахт крепёжным материалом.

Население

Период воспроизводства населения составляет около тридцати лет. Поэтому необходимо время для того, чтобы новые тенденции в его воспроизводстве могли обнаружиться в полной мере. Многие люди считают, что рост всех отраслей экономики зависит от роста численности населения, который является одним из факторов, стимулирующих развитие экономики и рост производства энергии. До начала XX в. правительства всех стран поощряли рост численности населения, ибо в нем видели средство ускорения темпов энергетического развития. Увеличение населения той или иной страны и в самом деле способствовало выживанию этих стран в период ускоренного роста (в соответствии

с принципом максимизации роста, см. гл. 5). Воздействие роста численности населения на ускорение темпов роста экономики схематически показано на рис. 23. Рост численности населения зависит от технологии производства энергии и тем самым от энергетических процессов в целом (см. рис. 108).

В 70-х годах, т. е. в период истощения энергетических ресурсов, увеличение населения не привело к росту произ-

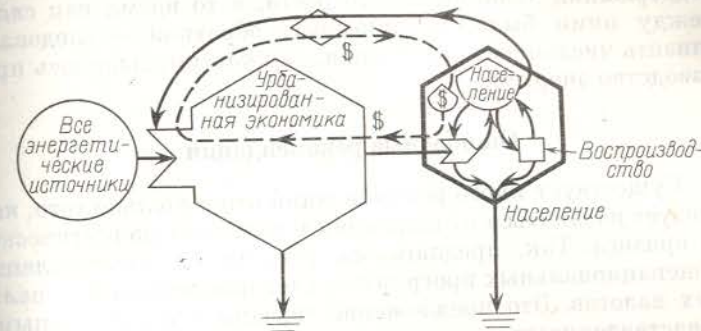


Рис. 108. Взаимосвязь роста и численности населения, энергетического обеспечения и урбанизированной экономики. Если энергетических источников вполне достаточно, рост системы может быть стимулирован расширенным воспроизводством населения и непосредственной стимуляцией роста урбанизированной экономики. Один фактор ускоряет другой, но лишь в том случае, если достаточно энергии.

водства энергии. То же количество энергии приходилось уже на большее число людей, поэтому прирост населения приводил к росту безработицы. Идея о необходимости нулевого прироста населения сформировалась задолго до того, как разразился энергетический кризис. На первых порах сторонники этой идеи считали, что необходимо достичь более высокого уровня производства энергии на душу населения. Некоторые из них видели в снижении роста численности населения слаборазвитых стран путь достижения ими уровня жизни столь же высокого, как в странах Запада. Ими разрабатывались различные мероприятия, направленные на снижение рождаемости и на развитие системы здравоохранения. Осуществление этих мер снизило темп роста народонаселения в тех странах, где личное потребление и

уровень образования граждан были достаточно высоки для того, чтобы понять необходимость планирования семьи. Контроль за рождаемостью и забота об обеспечении населения продуктами питания привели к снижению рождаемости. В одних странах рождаемость начала снижаться до того, как начал падать уровень энергетического обеспечения, в других странах — наоборот. В США многие люди думали, что рост численности населения необходим для поддержания экономического роста, в то время как связь между ними была, по-видимому, обратной — следовало снизить численность населения, так как уменьшилось производство энергии.

Ошибочные рекомендации

Существует много рекомендаций относительно того, как следует избавиться от инфляции и выйти из энергетического кризиса. Так, предлагалось расширить осуществление общенациональных программ за счет повышения федеральных налогов. Это предложение связано с традиционными представлениями о том, что следует стимулировать развитие экономики, ускоряя оборачиваемость денег за счет более быстрого их расходования (см. гл. 4). В ускоренном росте затрат усматривали лекарство, которое способно вывести страну из депрессии, аналогичной кризису 1929 г. Однако в эти годы в стране были богатые энергетические ресурсы, в наши дни ускорение темпов затрат лишь увеличивает денежные потоки, оставляя неизменным и даже уменьшая количество произведенной энергии. Иными словами, оно лишь усиливает инфляционные процессы.

Выдвигалось и другое предложение. Оно состояло в том, что необходимо сбалансировать федеральный бюджет и уменьшить федеральные расходы, сохраняя неизменной массу денежных средств, находящихся в обращении. Вначале предлагалось снизить эти расходы меньше чем на 1% от всей суммы денежных средств, находящихся в обращении. Едва ли эта мера могла привести к положительным результатам, поскольку индекс инфляции превышал 12%.

Ряд лиц считали, что следует сократить расходы на военные нужды. По их мнению, военная промышленность не в состоянии обеспечить низкие цены на импортируемую энергию, поэтому за пределами страны роль этой отрасли экономики незначительна. В настоящее время производство

полезной энергии снизилось в большинстве стран мира; тем самым уменьшилась возможность вмешательства в дело других стран¹. Исключением из этого являются страны, богатые нефтью, богатство которых в наши дни возросло. Однако производство этими странами полезной энергии, возможно, достигло своих пределов и вскоре начнет сокращаться.

¹ Это утверждение авторов противоречит действительным событиям международной жизни в последние десятилетия. Можно вспомнить неоднократное вмешательство промышленно развитых капиталистических стран во внутренние дела различных стран Азии, Латинской Америки и Африки, вплоть до военной интервенции, развернувшуюся в наши дни «торговую войну» между США и Японией и др. — Прим. ред.

Глава 15

СТАБИЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ЭКОНОМИКИ

В данной главе будут рассмотрены особенности стабильного состояния экономики, которое может быть достигнуто уже в настоящее время или в ближайшем будущем.

Страх и непонимание были той причиной, которая объясняет неприятие большинством людей в 70-х годах идеи снижения темпов роста. Эта же причина затруднила осознание ими всех преимуществ стабильного состояния экономики. По всей вероятности, люди отождествляют особенности роста живого организма и больших социальных систем. Каждый организм развивается следующим образом: за периодом его роста следует старение и в конце концов смерть. Период жизни больших социальных систем более длителен, если они располагают достаточным количеством энергии для обеспечения функционирования и смены своих элементов и не становятся чересчур жесткими, что затруднило бы сменяемость элементов, входящих в эту систему.

В гл. 5 устойчивость была охарактеризована как состояние равновесия между энергетическими потоками на входе и на выходе системы. В этой же главе приводились примеры устойчивых физических систем, в частности ванная, в которую с одной стороны вливается, а с другой выливается то же количество воды. В гл. 7 приводились примеры устойчивых экосистем, основанных на равновесии между поступлением солнечной энергии и ее затратами, необходимыми для поддержания жизни, обновления элементов и удовлетворения различных потребностей, связанных с выживанием живых организмов. Изучение первых периодов человеческой истории привело нас к выводу о том, что здесь

человечество жило в условиях устойчивой экономики. Такова экономика на тех этапах социального развития, когда люди занимались охотой, собирательством и земледелием. В доиндустриальную эру люди жили в экономических условиях, отличавшихся стабильностью и незначительными флюктуациями, которые объясняются ничтожными изменениями в источниках энергии — солнечной активности, уровне осадков, силе ветра и т. д.

Условия стабильности экономики

Хотя в гл. 5 были рассмотрены те условия, в которых постоянные ресурсы энергии обеспечивают стабильность систем, следует вновь проанализировать их, но уже применительно к особенностям взаимоотношений между человеком и природой в наши дни. Устойчивое состояние системы достигается лишь тогда, когда поступление энергии постоянно. В этом случае в системах формируются блоки, которые обеспечивают максимизацию использования энергии и поддерживают достигнутый уровень потребления энергии.

В современных энергетических условиях существует несколько путей стабилизации экономики. Выбрав один из них, мы можем сохранить существующее состояние, а позднее достичь стабильности при более низком уровне производства и потребления энергии. Если нефтедобывающие страны будут продолжать экспортировать нефть остальным странам мира, а атомные электростанции будут лишь источником дополнительной энергии, экономика всех остальных стран мира стабилизируется. Это состояние, возможно, будет достигнуто лет через 25. Следует подчеркнуть, что в этих условиях стабильность экономики будет непродолжительной, так как возможности выработки полезной энергии на базе минерального топлива будут сокращаться. Экономика вступит в период медленного спада, предшествующего достижению стабильности при низком уровне производства и потребления энергии. Когда богатые легкодоступные запасы минерального топлива, металлических руд и ядерного топлива будут исчерпаны, останется лишь один источник полезной энергии, поддерживающий жизнь природы и человека, — Солнце. В гл. 7 и 8 уже было показано, что солнечная энергия является одной из причин возникновения морских течений, приливов, осуществления растениями фотосинтеза, круговорота

воды, осадочных и вулканических пород. Вещества, включенные в седиментарный круговорот, приводят к созданию в недрах земли месторождений минерального топлива. Они включаются в новые круговороты, связанные с деятельностью человека или с действием процессов горообразования. Доля этих веществ составляет не более 10% всех осадочных отложений¹.

На рис. 109 изображены модели будущего человечества, в том числе модель, учитывающая возможность открытия крупных (неограниченных) источников энергии (рис. 109b). Существуют два возможных варианта перехода от существующего к стабильному состоянию. Один из них (рис. 109a) связан с интенсивной эксплуатацией оставшихся запасов нефти: бум с последующей депрессией. Другой — с регуляцией потоков энергии с помощью установления пределов ее производства и максимальных цен на топливо, с тем чтобы отодвинуть наступление спада некоторых отраслей экономики и более плавному снижению уровня экономического развития (здесь возможны четыре варианта — см. рис. 109c), а в последующем осуществляется переход к постоянному устойчивому состоянию экономики.

Стабилизация энергетических потоков на достигнутом ныне уровне обеспечивает функционирование многих отраслей экономики, например США, за исключением тех отраслей, которые ориентированы на дальнейший рост. Энергию, полученную вследствие стабилизации всей экономики и прекращения ее роста, следует направить на развитие системы профессиональной переподготовки. Определенную часть энергии следует затратить на осуществление протекционистских мер, защищающих экономику от воздействия тех стран, которые располагают избытком энергии и экономика которых будет продолжать расти.

¹ В природных процессах ежедневно происходит процесс превращения в осадочные отложения такого объема органических веществ, который сопоставим с количеством минерального топлива, используемого в экономике. Незначительная часть отложений органических веществ, вступая в новый круговорот, превращается в запасы минерального топлива. Иначе говоря, лишь небольшую часть используемых видов минерального топлива следует отнести к источникам возобновимой энергии, а именно ту часть, которая постоянно образуется и используется человеком.

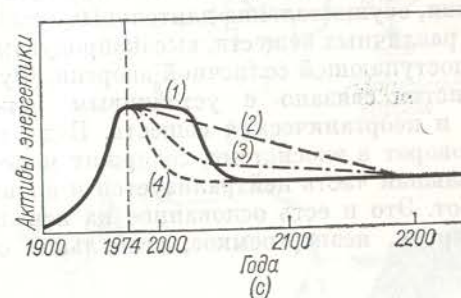
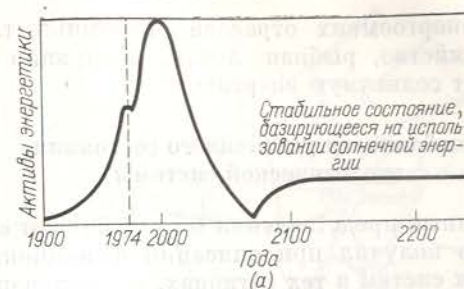


Рис. 109. Альтернативы будущего.

а) Продолжение и последующая депрессия при использовании наличных ресурсов энергии. б) Неограниченный рост. в) Лучшая модель развития

Однако наиболее вероятна другая альтернатива — общее снижение экономического уровня, предшествующее достижению стабильности, потому что люди не ограничат свои потребности до тех пор, пока нехватка энергии не вынудит их к этому. Повышение затрат энергии постепенно приведет к тому, что значение высоких по своему качеству видов энергии во всей экономике снизится и увеличится

значение неэнергоемких отраслей экономики, таких, как сельское хозяйство, рыбная ловля, продукция которых аккумулирует солнечную энергию.

Особенности устойчивого состояния экологической системы

Определенные представления об устойчивом состоянии читатель уже получил при описании функционирования экологических систем в тех регионах, где природно-климатические условия и энергетические потоки сохраняются в относительно неизменном виде на протяжении миллионов лет. Примерами таких экосистем могут служить тропический лес, экосистемы на коралловых рифах и у морского дна, где температура воды близка к точке замерзания. Для осуществления процессов организации и отбора в этих экосистемах, где различные виды живых организмов адаптировались друг к другу, необходимо длительное время. Для этих экосистем характерны многообразие видов, различные типы взаимоотношений между ними (от сосуществования до симбиоза), наличие организмов со сложными программами поведения, осуществление длительных геологических круговоротов различных веществ, высокопродуктивное преобразование поступающей солнечной энергии. Функционирование экосистем связано с устойчивым накоплением органических и неорганических веществ. Вода, осуществляющая круговорот в экосистеме, содержит мало отходов, так как их большая часть нейтрализуется и вновь вступает в круговорот. Это и есть основанное на использовании солнечной энергии, неэнергоемкое, стабильное состояние экосистем.

Особенности стабильного состояния человеческого общества

Состояние стабильности при низкой энергоемкости

Еще до недавнего времени сельскохозяйственные общины в долине р. Ганг в Индии состояли из малочисленных групп, возделывавших различные виды сельскохозяйственных культур. Распределение воды между общинами и ирригационные сооружения были приспособлены к муссонному климату, к смене сезонов тропических ливней и засухи (см. рис. 110). Крупный рогатый скот имел не только

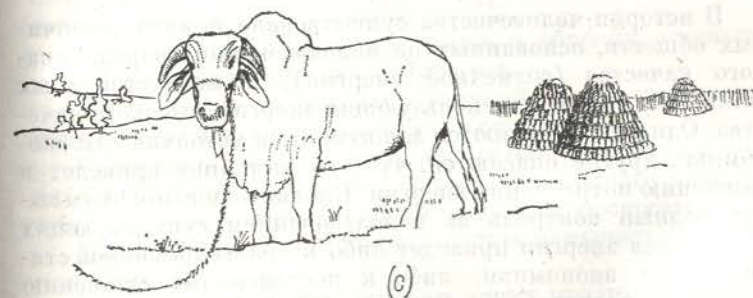
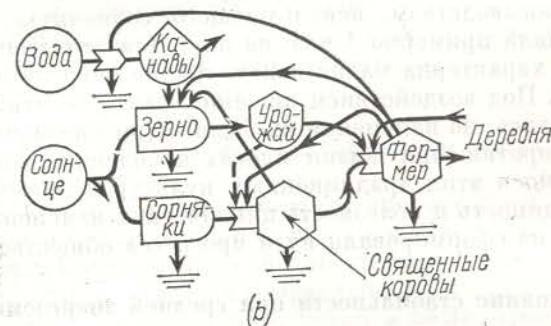
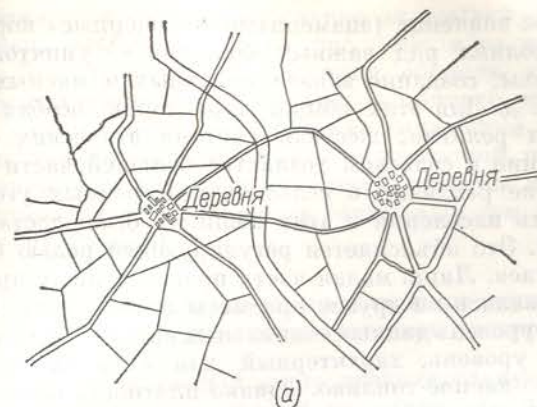


Рис. 110. Схема энергетических потоков в сельском хозяйстве Индии.
а) Расположение деревень, земельных участков, дорог и каналов. б) Энергетическая диаграмма. в) Бык и сушка соломы на топливо.

религиозное значение (знаменитые «священные» коровы), но и выполнял ряд важных функций — уничтожение сорной травы, создание запаса молочных и мясных продуктов и т. д. Для этих общин характерны особая роль ритуалов и религии, жесткая система этических норм, использование в сельском хозяйстве большей части отходов; большие различия в сельскохозяйственных угодьях. Численность населения в этих общинах была достаточно устойчивой. Это объясняется регулирующей ролью болезней и обычаев. Лишь малая часть произведенных продуктов обменивалась на другие предметы потребления. Энергетический уровень данных социальных систем был гораздо ниже, чем уровень, характерный для обществ, использующих ископаемое топливо. Однако плотность населения, потребности которого удовлетворялись сельскохозяйственным производством, использующего солнечную энергию, составляла примерно 1 чел. на акр. Для этих социальных систем характерна малая концентрация энергии в расчете на акр. Под воздействием внешних факторов эти системы изменялись, но изменения их были весьма незначительными на протяжении жизни многих поколений. Хотя люди, живущие в этих традиционных культурах, и осознавали необходимость и полезность циклических изменений, однако они не сформировали идеи прогресса общества.

Состояние стабильности при средней энергоемкости

В истории человечества существовало немало устойчивых обществ, основанных на использовании энергии низкого качества (солнечной энергии), и малоустойчивых социальных систем, использующих энергию высокого качества. Одни люди являются защитниками устойчивости экономики, другие опасаются, что это состояние приведет к снижению потребления энергии. Вполне вероятно, что международный контроль за использованием существующих источников энергии приведет либо к кратковременной стабилизации экономики, либо к постепенному снижению уровня ее производства (см. рис. 109с). Можно предположить, что период стабильной экономики — 25 лет и связан с устойчивым уровнем производства и потребления энергии, который достигается комбинацией регулируемого использования как энергии минерального топлива, так и солнечной и ядерной энергии. Иными словами, пред-

положим, что функционирование экономики описывается моделью, изображенной на рис. 109с, а не на рис. 109а, 109b. Для устойчивого состояния обществ, обладающих крупными источниками энергии, характерен ряд особенностей, одни из которых связаны со снижением уровня производимой энергии, другие — с ее нехваткой, прежде всего полезной энергии, обеспечивающей развитие новых отраслей производства (см. также раздел «По ком звонит колокол», стр. 28—35).

Особенности устойчивого состояния экономики при среднем энергетическом уровне

Отсутствует чистый рост; незначительные изменения после перехода экономики к состоянию стабильности; новое возникает, замещая собой старое.

Отрасли экономики, стимулирующие ее рост, ликвидированы, за исключением слаборазвитых.

Реклама незначительна.

Уменьшение роли транспорта.

Кредит, прибыли и капитал невелики; эпоха капитализма завершается.

Деньги больше не обеспечивают прирост денег.

Акции и банки играют незначительную роль.

Бюджет правительства сбалансирован.

Общественные работы направлены на поддержание существующих проектов и сооружений, а не на строительство новых сооружений.

Уменьшение бюджета на армию и оборону, уменьшение вероятности военных конфликтов.

Отказ от технологии, направленной на охрану окружающей среды и конкурирующей с экосистемами.

Развитие различных специальностей, позволяющих покрывать несоответствие потребностей современного человека существующим мировым энергетическим ресурсам.

Миниатюризация техники с целью меньшего потребления энергии.

Уменьшение числа конкурирующих предприятий; рост кооперации между предприятиями.

Отказ от идеи прогресса.

Большая заинтересованность людей в досуге и в тех видах труда, которые не связаны с расширением экономики и с увеличением прибыли.

Сокращение возможностей для свободы выбора и экспериментирования.

Передача функций крупных организаций более мелким.

Замена юридических норм религиозными и этическими нормами. Вытеснение государственных установлений обычаями.

Преобладание малых организаций; максимальное развитие тех или иных регионов.

Уменьшение семьи; лучшее использование рабочей силы мужчин и женщин, реализация людьми общественных потребностей в рамках «коммунальных групп»; снижение потребности в воспроизводстве населения.

Сокращение путешествий и туризма; уменьшение затрат на развлечения и предметы роскоши; сокращение числа крупных самолетов и поездов; уменьшение числа энергоемких (скоростных) перелетов и поездок.

Локализация медицинского обслуживания; сокращение дорогостоящего стационарно-больничного лечения; максимальное использование фармацевтических препаратов.

Более высокая степень регенерации всех материалов.

Вытеснение многоэтажных построек небольшими домами, строительство и эксплуатация которых осуществляется автономно.

Замещение искусственных декоративных насаждений (например, газонов) посадкой различных видов растений на меньшей площади.

Прекращение кондиционирования воздуха; средствами архитектуры жилые постройки так вписываются в ландшафт, чтобы использовались естественные возможности охлаждения и геотермального подогрева.

Уменьшение эвтрофикации, так как питательные вещества, содержащиеся в отходах деятельности животных и человека, вновь поступают в сельскохозяйственное производство.

Уменьшение числа студентов в университетах и общего числа университетов; поддержание уровня знаний, который обеспечивается существующими энергетическими ресурсами; сокращение научных исследований; содержание предметов обучения направлено лишь на то, чтобы помочь человеку приспособиться к новым условиям. В период перехода экономики к устойчивому состоянию значение университетов весьма существенно.

Использование на фермах меньшего количества топлива, увеличение доли ручного труда; уменьшение количества машин, используемых в сельском хозяйстве, приведет к усилению роли мелких производственных единиц.

Вытеснение крупных электростанций более мелкими.

Вытеснение крупных очистных сооружений небольшими местными системами регенерации, в гораздо большей степени использующими естественные процессы, происходящие в экосистемах и сельском хозяйстве.

Улучшение психического здоровья людей, так как они уже не будут испытывать громадного воздействия энергетических потоков и социальных изменений.

Исчезновение тех явлений, которые связаны с высокой концентрацией энергии: преступлений, несчастных случаев, насилия, шума, централизации сферы услуг, налогов.

Изменения в использовании леса — от производства бумаги и сырья для полимеров к производству строительных материалов.

Несущие мощности системы

В гл. 5 было дано описание водонапорной башни, в которой постоянный уровень воды поддерживается подачей стабильного количества энергии (рис. 22). Это — модель устойчивого состояния, основанного на поступлении постоянного количества энергии. Эта же модель уже давно используется в управлении человеком развитием флоры, фауны в тех или иных регионах. Она характеризует несущие мощности, присущие той или иной системе, в частности численность популяции одного вида, жизнедеятельность которой на протяжении длительного времени обеспечена экосистемой леса, в свою очередь связанной с регулярными поступлениями возобновимой энергии Солнца, дождя, ветра, вращения Земли и т. д. Эта модель описывает постоянство, гармоничность в изменениях популяции, ее устойчивость по отношению к другим популяциям. Несущие мощности экосистемы могут существовать при определенной плотности популяции, которая не угрожала бы естественным механизмам поддержания сложной среды обитания.

В последние годы усиленно обсуждался вопрос о том, применимо ли это понятие к истории человечества. Следует отметить, что истолкование всех энергетических затрат,

необходимых человечеству для удовлетворения своих потребностей, обычно строится исходя из модели энергообеспечения космического корабля, где все необходимое надо было заранее запасти и транспортировать с большими затратами энергии. Планета Земля — это также космический корабль. Возможность существования человека на

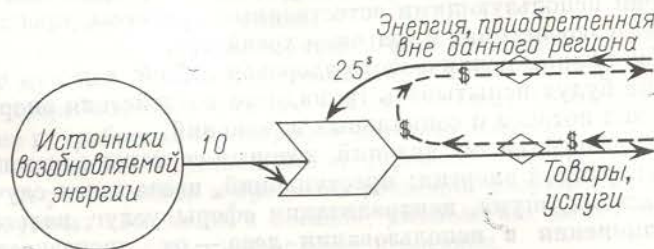


Рис. 111. Энергетический базис, характерный для того или иного региона, образуемый из суммы возобновимой энергии и энергии, полученной в обмен на произведенную продукцию. Цифры показывают соотношение возобновляемой и закупаемой энергии для США (в единицах условного топлива).

Земле связана скорее с функционированием экосистем морей, лесов и лугов, а не техники. Очистка воздуха, суши и воды до сих пор осуществляется главным образом постоянным круговоротом воды, геологическими циклами и рядом биологических процессов, происходящих в экосистемах суши и океанов.

Несущие мощности, обеспечивающие существование человечества, связаны не только с потреблением воды, пищи и воздуха; они включают в себя отрасли экономики, осуществляющие те или иные функции биосферы (сельское хозяйство, промышленность и переработка отходов).

Неоднократно предпринимались попытки рассчитать допустимую численность человечества на Земле. Ныне уже ясно, что несущие мощности Земли, обеспечивающие существование человечества, определяются конкуренцией между природными экосистемами и социальными системами за получение большого количества энергии. Нельзя поддерживать эффективную экономику тех социальных систем, которые ориентированы на ускоренный рост. При скученности и чрезмерной плотности населения системы природные ресурсы быстро истощаются и должен существовать излишек энергии, обеспечивающий переработку отходов,

профилактику заболеваний, борьбу с ошибочными рекомендациями, преступностью и увеличением хаоса.

Развитие экономических систем в отличие от экологических лишь отчасти связано с потоками возобновимой энергии Солнца, ветра, дождя и т. п., которые весьма различны в различных регионах земного шара. Для функционирования современных экономических систем человек вынужден «импортировать» большое количество энергии, прежде всего ископаемое топливо. Поэтому несущие мощности, обеспечивающие существование социальных групп в пределах того или иного района, определяются длительностью их жизнедеятельности, осуществляющейся на базе использования различных источников энергии — и возобновимой солнечной энергии, и «импортируемой» извне. Энергетический базис человечества можно подразделить на две части (см. рис. 111): (1) источники возобновимой энергии, существующие в том или ином регионе, и (2) взаимодействующие с возобновимой энергией специфические виды энергии, вовлекаемые в экономику благодаря обмену или инвестициям. Многие люди ошибочно полагают, что в мире существуют громадные, почти не ограниченные мощности, обеспечивающие существование человечества, ибо считают запасы минерального топлива неисчерпаемыми.

Если учесть конкуренцию между регионами, то можно определить несущие мощности того или иного района. Система, максимально использующая в производстве источники возобновимой энергии, может поддерживать низкие цены на свою продукцию, занимает господствующее положение на международном рынке и закупает большее количество энергии извне. При безудержном росте производства в тех или иных районах земного шара возобновимая солнечная энергия используется в гораздо меньшей степени. В этом случае происходит рост цен на товары, снижение доходов населения и уменьшение количества энергии, получаемой из источников, находящихся вне данного района. Вследствие этого экономика определенной страны, рост которой происходит за счет закупок энергии, может развиваться до тех пор, пока соотношение между этими видами энергии — между объемом поступающей возобновимой и импортируемой энергии — не снизится до соотношения между этими видами энергии, которое присуще конкурирующей стране. Для США это соотношение составляет примерно 1,0 ед. возобновимой энергии к 2,5 ед. закупае-

мой энергии, выражаемых в единицах условного топлива. Экономика стран, в которых это соотношение выше, более развита по сравнению с экономикой, где соотношение ниже. В этих странах существует тенденция к спаду экономики.

Уменьшение возможностей закупки энергии приводит к тому, что значение источников возобновимой энергии в поддержании конкурентоспособности тех или иных стран возрастает и будет возрастать и в дальнейшем. Согласно этим расчетам, рост таких городов, как Майами (шт. Флорида, США), уже достиг своего предела. Это же относится и к уровню потребляемой им энергии. Город Нью-Йорк уже испытывает упадок.

Унаследованные энергоресурсы и переход к стабильному состоянию

Экономика периода роста связана с развитием различных накопителей энергии высокого качества — строительством автострад, библиотек, электростанций, огромных судов — и с ростом численности населения. Снижение энергии, по-видимому, означает, что в будущем не все эти накопители энергии следует сохранять. Однако на протяжении еще долгого времени люди будут продолжать использовать эти накопители энергии. Постепенно из них будут отобраны лишь те, целесообразность которых будет несомненной. Люди должны будут найти другое применение огромным городам, междугородным автострадам и т. п. Задача состоит в том, чтобы эти накопители энергии использовать по-новому, так, чтобы их функционирование было бы связано с меньшими затратами энергии. Если же их сохранение в рабочем состоянии не будет сочтено целесообразным, они должны быть сохранены ради того, чтобы реализовать какие-то иные цели, которые могут быть выдвинуты людьми. Эти огромные запасы активов являются средством предотвращения внезапного краха экономики и предоставляют человечеству время и возможности для того, чтобы успеть произвести изменения в своей жизни.

Каждый человек должен задуматься о тех изменениях, которые следует осуществить. Возникающие новые условия его жизни предполагают введение множества новых правовых норм; возможно, следует вообще пересмотреть все социальные установления, сохранив лишь те, которые необ-

ходимы для жизни человека в мире неприхотливых потребностей. Мы должны избавиться от многих вещей раньше, чем наша экономика начнет претерпевать упадок. И это нужно делать уже сейчас.

Стабильная экономика — обетованная земля

В человеческой истории были периоды, когда люди адаптировались к условиям жизни в стабильном обществе. Надо сказать, что это были условия благополучной жизни людей, обладавших постоянной работой и находивших удовлетворение своим безыскусным потребностям. Есть основания предполагать, что вступление общества в устойчивое состояние или медленное снижение уровня энергетики также принесет человеку благополучие, причем сверхбыстрый рост и «шок будущего» уйдут в прошлое и заменятся стабильностью. Те особенности экономики периода роста, которые имеют положительное значение, следует сохранить, это относится, в частности, к такой характеристике, как определенный уровень ее разнообразия, другие же — менее важные и бесполезные — должны исчезнуть. Устойчивое состояние экономики обладает своими специфическими характеристиками — сокращение рабочего времени, социальное взаимодействие и предоставление человеку всех возможностей для восстановления своих сил. И эти характеристики устойчивой экономики свидетельствуют об улучшении жизни каждого человека.

Для того чтобы адаптироваться к состоянию стабильности, люди должны направить свои силы на достижение новых, более значительных и разнообразных целей. Для того чтобы избежать социальных противоречий, характерных для периода роста экономики, осуществляющегося при использовании высококачественной энергии, молодежи следует изменить свои установки и развивать «молодежную подкультуру», используя энергию низкого качества. В обществе, основывающемся на эксплуатации источников энергии низкого качества, от каждого человека потребуются гораздо больший трудовой вклад, поскольку машин будет меньше. С уменьшением роли национальных и международных организаций, занимающихся распределением продовольствия, сокращением затрат на вооружение и на строительство информационных систем, та или иная страна вынуждена будет адаптироваться к местным энергетическим

ресурсам. Богатство всего человечества из богатства «одного нераздельного мира» станет богатством различных народов и регионов земного шара. Человечество — наиболее адаптирующаяся часть природы, и будем надеяться, что оно сможет приспособиться к изменению энергетических потоков, действующих на земном шаре, к новым условиям — условиям стабильного состояния общества¹.

¹ Суждение и прогнозы авторов в данной и последующей главах основываются на пессимистической оценке возможностей развития техники и социального прогресса человечества, на неомальтузианских идеях о необходимости прекращения роста населения и нехватке продовольственных ресурсов. В этих реакционных рассуждениях, стремящихся вернуть человечество к уже пройденным этапам истории, к патриархальным формам жизни, авторы игнорируют не только особенности социально-политической структуры, позволяющей решить экономические и энергетические проблемы, но и новые возможности, открываемые перед сельским хозяйством и промышленностью благодаря применению удобрений, отобранных гибридных сортов, внедрению новых машин, технологических процессов, использованию новых источников энергии и т. д. Более подробная оценка позиции авторов книги дана в предисловии. — *Прим. ред.*

Глава 16

БУДУЩЕЕ, ПОЛНОЕ НАДЕЖД

В данной главе следует резюмировать все ранее сказанное об энергии, окружающей среде и экономике. Начав с изложения законов энергии, мы затем перешли к анализу энергетического базиса жизни человечества и биосферы, проследили пути развития человечества, объяснили причины энергетического кризиса и инфляции. В истории человечества, вероятно, наступает новый этап, для которого характерны большее постоянство в производстве и потреблении энергии, постепенное сужение потоков энергии и переход к устойчивому состоянию.

Обобщенная модель связей экономики с внешними энергетическими потоками биосферы представлена на рис. 112. Анализ энергетического базиса экономики позволил показать, что инфляция — признак уменьшающегося производства полезной энергии. Модель будущего представлена на схеме (см. рис. 113b). Рост экономики должен замедлиться. Каждый из нас должен считаться реальностью, т. е. с законами энергии, и подготовить себя к жизни в мире с меньшими энергетическими возможностями. Устойчивое состояние экономики, на наш взгляд, более благоприятно и наиболее адекватно природе человека, чем переживаемый ныне период лихорадочного роста экономики, который скоро закончится.

Постепенное снижение энергетических и денежных затрат

На рис. 112 схематически изображен круговорот энергии, совершающийся в экономике США. Поступающая

энергия минерального и ядерного топлива, Солнца, дождя, почвы и т. д. взаимодействует с обращением товаров, услуг и круговоротом различных веществ, которые осуществляются человеком и характеризуют экономику сельскохозяйственного производства и экономику различных природных ареалов. В процессе выполнения той или иной работы

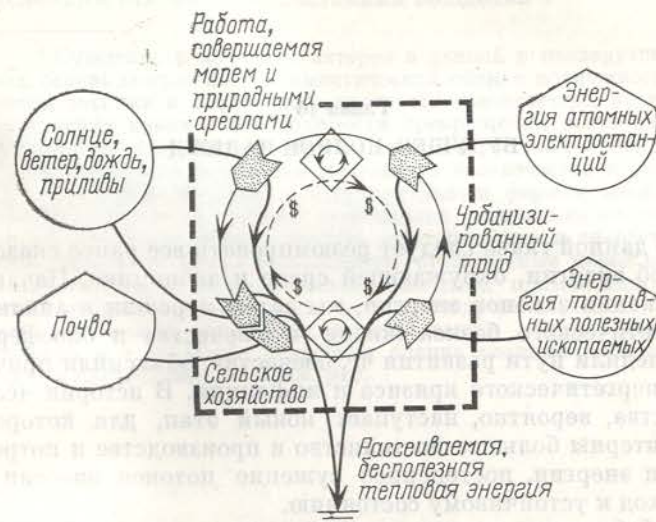


Рис. 112. Денежное обращение направлено в противоположную сторону по сравнению с движением импортируемой извне энергии. Поступающая в круговорот энергия расходуется на протяжении всего цикла. Денежные средства осуществляют цикл оборота и выравнивают распределение энергии. В этой диаграмме использованы прежние обозначения, но здесь потоки образуют замкнутый круг.

энергия теряет свое качество и уже больше не может использоваться; в виде тепловой энергии она рассеивается в окружающей среде и в космическом пространстве. Хотя энергия является составной частью круговорота различных веществ, обмена предоставляемыми услугами и информацией, происходящих в определенных регионах, она рассеивается по всей системе. Таким образом, в этих круговоротах накапливается энергия, которая распределена между различными по своему типу циклами. Трудно сказать, какая часть поступающей энергии оказывает решающее дей-

ствие в том или ином круговороте, поскольку для осуществления того или иного круговорота необходимо поступление энергии в любую его точку.

Обращение денег противоположно движению энергии; деньги осуществляют «смазку», способствуют реализации круговорота энергии. Ускорение обращения денег содействует поступлению новой дополнительной энергии в энергетическую цепь, но только в том случае, если существуют неиспользованные источники энергии.

Реальная стоимость доллара, находящегося в обращении, может быть выражена в той работе, которая необходима для осуществления круговорота энергии. Эту стоимость можно определить как сумму всех потоков энергии (выраженных в единицах условного топлива), поступающих в течение года в экономику того или иного района, и делением этой суммы на количество долларов, находящихся в обращении в том же году (валовой национальный продукт). В 1973 г. в США на каждый доллар приходилось 25 тыс. килокалорий (см. рис. 17).

Поступающая энергия включает в себя энергию Солнца, ветра, дождевых осадков, приливов, геологических и геохимических круговоротов, которые не всегда учитываются в энергетических расчетах. Деньги обмениваются на товары, которые переходят из рук в руки. Но деньги не есть источник энергии. Вкладывая их, скажем, в нефтедобывающую промышленность или сельское хозяйство, люди развивают те отрасли экономики, которые обеспечивают получение энергии.

Если источник энергии иссякает, а масса денежных средств, находящихся в обращении, остается неизменной, то величина произведенной работы в расчете на 1 долл. уменьшается в том же самом темпе, в каком уменьшаются энергетические ресурсы. Если источники энергии истощаются и становятся труднодоступными, это имеет те же последствия, что и сокращение поступающей энергии.

Рост энергии (и тем самым рост производства товаров, сферы услуг, активов и т. д.), происходивший в последние десятилетия, был возможен лишь потому, что эксплуатация новых источников энергии обеспечила невиданный рост экономики. Но в наши дни рост экономики замедлился вследствие ограниченности ресурсов энергии, хотя рост и ныне продолжается в тех странах, где существуют благо-

приятные природно-климатические условия или богатые источники нефти.

Ранее уже было сказано о том, что годовое производство полезной энергии при использовании минерального топлива уменьшается и становится ниже того количества энергии, которое необходимо для получения новой дополнительной энергии. Это, по-видимому, и будет основной причиной прекращения роста. Все страны мира стали бережно относиться к своим природным ресурсам, особенно к крупным источникам энергии. Это привело к эксплуатации бедных месторождений полезных ископаемых, неприбыльных источников энергии и к повышению цен на топливо.

Пик энергетического развития

В то время как экономисты сходятся понять, почему их предсказания, согласно которым экономика в самое ближайшее время вновь вступает в период роста, не оправдались, а большинство людей продолжает не понимать энергетическую природу инфляционных процессов, рост экономики прекратился, а уровень жизни снизился. Однако тот, кто анализирует экономику с помощью понятия «полезной энергии», может понять будущее, которое ждет человечество. Потоки полезной энергии сами по себе незначительны, и величина полезной энергии, вырабатываемой на атомных электростанциях, еще меньше. Модель роста и падения активов общества при истощении топливных ресурсов изображена на рис. 113. Экономика всех стран может испытать спад, но первыми его испытают богатые страны. Рост будет продолжаться в тех странах, которые импортируют нефть из стран Ближнего Востока.

Экономика США вступила в период спада; всеобщий спад деловой активности в 1974 г. заметен и в энергетике, и в денежном обращении, во всех отраслях производства. Однако многие американцы до сих пор продолжают говорить о необходимости роста и дальнейшего прогресса, о господстве в международной политике. Это может привести к опасным последствиям, поскольку население оценивает энергетические ресурсы страны выше их действительного уровня. В этой связи можно напомнить причины падения Древней Греции, которая вела войны и стремилась победить другие страны в тот период, когда ее энергетические возможности уменьшились из-за истощения сельскохозяй-

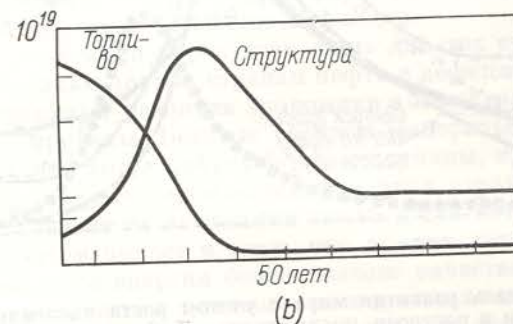
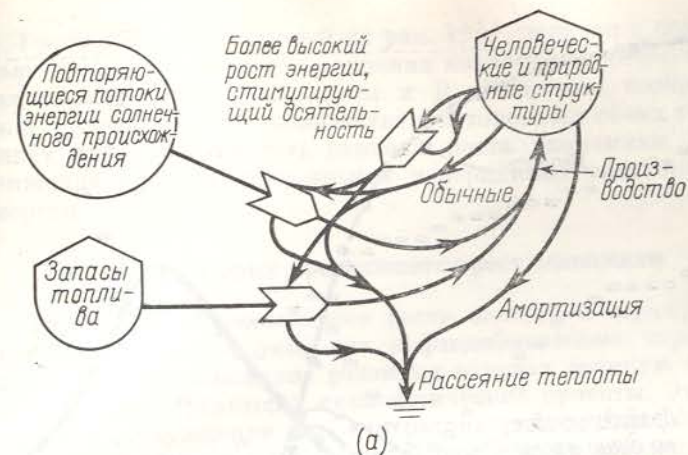


Рис. 113. Модель перехода от роста экономики, базирующегося на использовании минерального топлива, к ее устойчивому состоянию, которое основывается только на использовании потоков возобновимой солнечной энергии.

а) Обобщенная модель использования человечеством и природой энергии минерального топлива и возобновимой солнечной энергии.
 б) Графики, полученные на ЭВМ.

ственных угодий и вырубки лесов. Проблемы, возникшие в наши дни перед США, состоят не в том, следует или нет продолжать рост экономики и искать новые источники энергии, а в том, как уменьшить потребление энергии и приспособиться к новым условиям — условиям истощения энергетических ресурсов. Заглядывая в будущее, мы можем предсказать, что благоприятным для человечества будет курс на стабилизацию, а не на рост экономики.

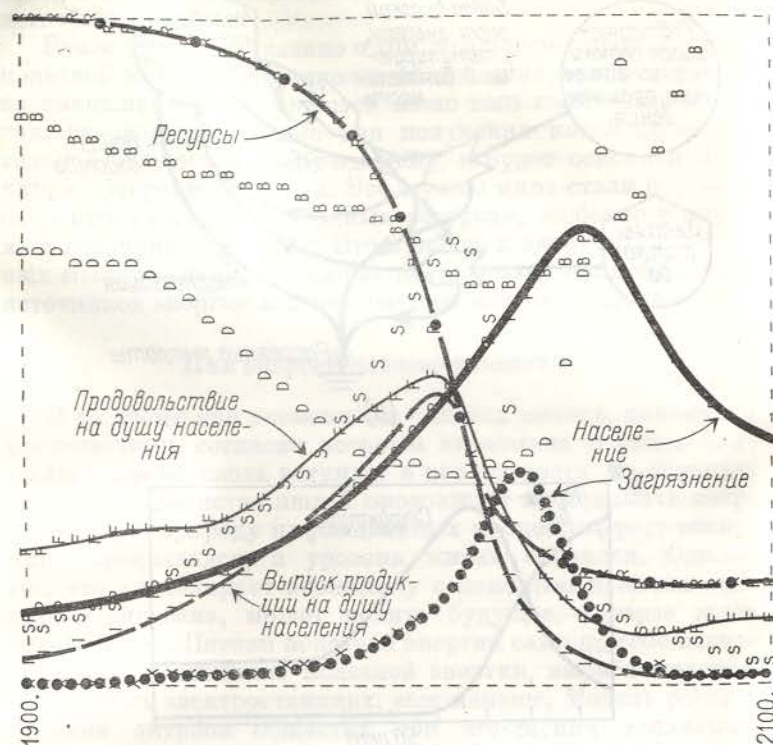


Рис. 114. Модель развития мира с учетом роста численности населения и ресурсов, предложенная Д. Форрестером и его сотрудниками. Стандартный вариант поведения модели мира предполагает, что не происходит значительных изменений в физических, экономических или социальных взаимосвязях, исторически определивших развитие мировой системы. Все введенные здесь переменные принимают свойственные им (в период 1900—1970) значения. Количество пищевых продуктов, объем промышленного производства и численность населения экспоненциально растут до тех пор, пока быстрое истощение ресурсов не затормозит промышленного роста. Вследствие естественных издержек в системе численность населения и уровень загрязнения среды некоторое время продолжают возрастать после того, как объем промышленного производства пройдет свое «пиковое» значение. Наконец, рост населения прекращается из-за увеличения смертности вследствие сокращения производства продовольствия и недостаточности медицинского обслуживания. (Источник: D. H. Meadows, D. L. Meadows, J. Randers, W. W. Behrens, The Limits to Growth. U. I. 1972).

График, представленный на рис. 114¹, получен с помощью ЭВМ. Он во многих отношениях аналогичен графикам, полученным Дж. Форрестером и Д. Медоузом, которые учли, правда, большее количество факторов. На обоих графиках нетрудно отметить периоды роста экономики, его снижения и спада, связанные с истощением источников энергии.

Страны, в которых продолжается рост экономики

Трудности экономического роста западных стран несколько смягчаются тем, что нефтедобывающие страны закупают в промышленно развитых странах военную технику, атомные реакторы, технологические проекты. Это и вводит в заблуждение тех, кто рассматривает этот обмен как одnorазовую закупку. Прекращение этого товарно-денежного обмена приведет к резкому падению производства полезной энергии и усилению инфляции.

Рост экономики характерен лишь для тех стран, которые поставляют другим странам нефть и дефицитное сырье. Но перспективы развития экономики и этих стран не слишком благоприятны. Богатые ресурсы минерального топлива этих стран когда-нибудь будут истощены, и, поскольку величина энергии, производимой в этих странах, уменьшится, развитие их экономики также достигнет своих пределов, а затем придет к тому, что в этих странах будет использоваться энергия более низкого качества. Незначительное количество осадков, выпадающих в некоторых из этих стран, ограничивает возможности развития сельского и лесного хозяйства, увеличение лова рыбы. И в этих странах рост экономики сменится ее упадком.

Инфляция — предостережение об опасности

Поступление энергии в основные отрасли экономики уменьшается, так как большая ее часть возвращается обратно и расходуется на увеличение производства энергии;

¹ Принятая величина мировых запасов топлива — $5 \cdot 10^{19}$ килокалорий (нетто); величина преобразуемой солнечной энергии, поступающей в производственные системы и обеспечивающей их рост и функционирование, — $5 \cdot 10^{15}$ килокалорий; энергетический эквивалент активов — 10^{18} килокалорий. Пик роста 50 лет в зависимости от величины обесценения и отходов.

денежное обращение остается тем же самым. Таким образом, количество производимой работы в расчете на 1 долл. уменьшается, и покупательная способность доллара падает. Причина инфляции — в нехватке энергии. Истощение богатых высокоэффективных ресурсов ископаемого топлива приводит к падению уровня производства полезной энергии и росту инфляции. Инфляционные процессы охватывают все страны мира, потому что мировые энергетические ресурсы на грани исчерпания.

Если в период, когда эти процессы охватили все страны мира, продолжать увеличивать массу денежных средств, находящихся в обращении, это приведет лишь к усилению инфляции. Раньше деньги служили средством стимулирования роста экономики; правительства создавали путем займов и налогообложения огромные запасы денежных средств, необходимых для осуществления общенациональных проектов. В наши дни инфляция — это проявление того очевидного факта, что производство энергии на душу населения сократилось. Каждому из нас следует сократить ее потребление. Это уже начинает делаться. Каждый из нас будет получать меньшее количество энергии, потому что наши доходы в результате инфляции обесцениваются. Единственный способ уменьшить это обесценивание — уменьшить массу денежных средств, находящихся в обращении, в той же мере, в какой уменьшается количество полезной энергии. Чтобы сохранить неизменной покупательную способность денег, необходимо заранее планировать уменьшение массы денежных средств, находящихся в обращении, и ежегодно изымать часть денег из обращения. Это поможет удерживать стоимость накоплений на определенном уровне. Но каждый из нас должен отдавать себе отчет в том, что сокращение денежных потоков, доходов и заработной платы приведет к сокращению занятости. Поскольку уменьшение дохода коснется каждого из нас, необходимо распределить сокращающееся рабочее время между всем активным населением страны, а не выбрасывать за ворота немногих. Это лучший путь уменьшения безработицы.

Адаптация в условиях спада экономики

Каждый из нас должен осознать ту простую истину, что поступление энергии на душу населения уменьшается. Число энергоемких отраслей производства должно сокра-

щаться пропорционально уменьшению энергетических ресурсов. Таким образом, уровень жизни каждого человека снизится. Это коснется прежде всего крупных собственников, тех, кто получает проценты на свой капитал, тех, кто вкладывает деньги в развитие тех или иных отраслей производства, и тех, кто занят в таких отраслях экономики, как система образования, электронная промышленность, и других сферах производства, предполагающих высокую квалификацию рабочих. Рост экономики во всех капиталистических странах прекращается, за исключением стран, которые обладают богатыми энергоресурсами и экономика которых может продолжать расти некоторое время. Сокращение роста — лучший способ решения всех проблем. Вместо того чтобы видеть в инфляции средство контроля за спадом экономики, мы можем контролировать его сами, урезая заработную плату, сокращая массу денежных средств, находящихся в обращении, и замедляя темпы экономического роста. Сокращение массы денежных средств, находящихся в обращении, позволит покончить с инфляцией во всех отраслях экономики. Рост массы денежных средств, находящихся в данное время в обращении в США, составляет 10—15% (100 млн. долл.). Сокращение этой массы денег вместе с сокращением заработной платы в том объеме, в каком происходит снижение количества производимой полезной энергии, является лучшим средством, обеспечивающим контроль за спадом экономики. Часть денежных средств может быть направлена на развитие научных исследований в энергетике, способствующих увеличению производства энергии. Однако более важно другое — в ближайшие два десятилетия научиться жить при нынешнем уровне производства и потреблении энергии.

Издержки и прибыль в энергетическом выражении

Истощение энергоресурсов ставит каждого человека перед трудным выбором тех путей, которые менее или более эффективны в энергетическом отношении. Исходя из этого, каждый из нас должен решать, что следует купить, какую одежду носить и в каком доме лучше жить. Решения, касающиеся осуществления тех или иных общегосударственных проектов, использования налоговых средств в целях стимуляции денежного обращения, мер по защите

окружающей среды, принимаемые федеральным правительством или губернаторами штатов, также должны оцениваться с точки зрения эффективности затрат энергии и достигаемых эффектов. Эти решения непосредственно связаны с максимально эффективным использованием энергии и оказывают громадное влияние на функционирование сложной системы «человек—природа». Принимаемые решения должны базироваться на тех данных, которые получены при анализе экономики в категориях «энергетические затраты — энергетический эффект». Большинство людей обычно используют категории «денежные издержки — прибыль» и сравнивают денежные затраты с полученной прибылью, принимая решение о том, следует ли сменить место работы или квартиру. Для осуществления подобного сравнения в категориях «энергетические затраты — энергетический эффект» необходимо выразить в единицах условного топлива всю произведенную продукцию и работу, сделанную как человеком, так и силами природы, а затем суммировать полученные величины. Из этой суммы следует вычесть величину, характеризующую затраты энергии на поддержание достигнутого уровня производства. В итоге мы получаем величину произведенной полезной энергии (нетто-энергию), которая позволяет оценить эффективность того или иного вида деятельности.

Если оптимальным решением считать то, которое через какой-то промежуток времени даст наибольший энергетический эффект, можно оценить любой проект по его воздействию на энергетический бюджет того или иного региона, т. е. на жизнь человека и на природные экосистемы, так как и человек и природа являются необходимым условием жизнеспособности экономики. Энергетические затраты, необходимые для применения техники и регенерации окружающей среды, могут быть рассчитаны в единицах условного топлива.

Например, для охлаждения трубопроводов электростанции на р. Кристал-Ривер, шт. Флорида, использовалась речная вода. Воздействие на водную среду измерялось уменьшением наполовину биологической продуктивности на площади 150 акров. Было предложено построить устройства для охлаждения воды, но, когда рассчитали энергетические затраты на строительство, оказалось, что они в 100 раз превышают затраты при естественном охлажде-

нии¹. Следует избрать систему естественного охлаждения, а не строить специальные сооружения. Представители правительственных учреждений по охране окружающей среды, которые настаивают на строительстве ряда технических сооружений вместо того, чтобы совершенствовать взаимодействие человека с природой, полны самых благих намерений, однако используют выделенные фонды отнюдь не лучшим образом.

Воздействие человека на окружающую среду

Правительство США несколько лет тому назад приняло ряд правовых законов по охране окружающей среды. Их принятие повлекло за собой расширение научных исследований, поставивших перед собой цель изучить, каково же воздействие на среду, экономику и население принятых мер по охране окружающей среды. Эти исследования вылились в пухлые тома, где под одной обложкой собраны разрозненные статьи, в которых каждый аспект охраны окружающей среды рассматривался изолированно от других. В настоящее время разработан более удобный способ фиксации результатов научных исследований, анализирующих то воздействие, которое оказывает человек на окружающую среду, но охватывающих систему в целом, а не ее отдельные стороны. В таком унифицированном описании целесообразно использовать упрощенные энергетические диаграммы и такие понятия, как понятие полезной энергии (нетто-энергии). В ряде схем, приведенных в данной книге, отражено воздействие человека на окружающую среду. В частности, воздействие на окружающую среду и на экономику в целом открытой добычи угля схематически показано на рис. 78. При анализе конкретных ситуаций затраты энергии должны быть количественно выражены. В условиях повышения цен на топливо и роста затрат энергии на охрану окружающей среды каждый человек должен быть

¹ Стоимость энергии, получаемой из основных отраслей экономики, в 100 раз превышает потери, связанные с использованием воды для естественного охлаждения (в единицах условного топлива). Сравните это отношение со средним показателем для США (см. рис. 111), который равен 2,5 : 1. Затраты, которые выше среднего уровня, следует считать неэкономичными, так как в этом случае расход высококачественной энергии превосходит затраты солнечной энергии, более низкой по качеству.

уверен в бережном отношении к существующим природным ресурсам энергии. И тем более важно оценивать различные проекты с точки зрения их воздействия на окружающую среду.

Определение конкурентоспособности с помощью понятия «полезной энергии»

Если страна использует импортируемую извне энергию, то необходимо ответить не только на вопрос о том, приводит ли тот или иной вид деятельности к получению полезной энергии, но и на другой вопрос, а именно можно ли считать этот вид деятельности человека лучшим способом использования дефицитной полезной энергии. Страна, закупая топливо, должна продавать другим странам товары, производство которых связано с большими затратами энергии. В гл. 6 мы ввели показатель эффективности, характеризуемый отношением произведенной энергии к энергии, вновь затрачиваемой на поддержание достигнутого той или иной системой уровня производства. Системы конкурентоспособны лишь в том случае, когда уровень продаж (выраженных в затратах энергии) равен или выше соответствующего показателя конкурирующей экономической системы. Все решения, принимаемые в период энергетического спада, должны быть обоснованы подобными расчетами.

Такие расчеты необходимо провести для того, чтобы решить, целесообразно или нет глубоководное бурение, например, в Северном море между Англией и Норвегией, где часто дуют штормовые ветры. Предварительные расчеты показывают, что затраты на строительство различных сооружений и доставку нефти равны полезной энергии, полученной при добыче нефти (в единицах условного топлива). Коэффициент выигрыша полезной энергии близок к 1. Другими словами, данный источник энергии имеет очень низкую эффективность. Если это так, то вложение денег во все отрасли, кроме нефтедобывающей промышленности, является малоэффективным. Это влечет за собой снижение конкурентоспособности тех или иных отраслей производства и уровня жизни; кредиты не будут погашаться, а выдвигаемые проекты останутся нереализованными. В таком случае гораздо более целесообразно направить энергетические «субсидии» на осуществление других целей.

Возможность нового периода роста

Говоря о будущем человечества, мы имеем в виду стабильную экономику и медленный спад производства и потребления энергии. Вероятность того, что эксплуатация существующих или предполагаемых источников энергии позволит получить количество полезной энергии, достаточное для того, чтобы привести к новому значительному росту экономики в условиях истощения ресурсов ископаемого топлива, мала. Правда, мы можем ошибаться. Существует возможность того, что, например, использование атомной энергии или каких-то пока еще не известных реакций приведет к увеличению производства энергии. Тогда наступит новый взрыв роста экономики и загрязнения среды, резко повысится вероятность того, что сложатся условия, отнюдь не благоприятные для жизни человека на Земле. Производство, в котором комбинируется использование машинной техники и различные потоки энергии — атмосферы, солнца, почв, — приведет к ряду отрицательных последствий. Вопрос заключается в том, сможет ли человечество сделать более устойчивыми свои взаимоотношения с биосферой планеты и выжить при более высоком уровне развития энергетики? И же оно не сможет выжить и будет вытеснено бактериями и насекомыми? Устойчивое состояние экономики и всей жизни человека при более низком уровне производства и потребления энергии открывает гораздо большие возможности для достижения благополучия всего человечества и нашей планеты.

В том случае, если будут открыты какие-то новые источники энергии, вновь обострится борьба за существование и в соответствии с принципом максимизации использования энергии победят те системы, которые обладают большими энергоресурсами. Новый период роста экономики, который может наступить вследствие открытия новых источников энергии, отнюдь не принесет счастье всему человечеству. Можно лишь удивляться, почему те специалисты, которые отстаивают необходимость поиска новых источников энергии, не могут определить оптимальные пути использования наличных капиталов, существующих природных ресурсов и произведенной полезной энергии.

Неверный путь

Переход к устойчивой экономике может быть затруднен, если люди не поймут его суть. Перспектива продолжения роста экономики, обеспечиваемого интенсивной эксплуатацией остающихся ресурсов минерального топлива, ужасна. Именно к этому настойчиво призывают недалековидные экономические советники правительства. Если человечество пойдет по этому пути, то в его распоряжении не будет ресурсов, которые позволили бы произвести необходимые изменения, поддержать определенный уровень социальной организации и смягчить удар, связанный с резким падением численности населения. Это приведет к тому, что в некоторых странах гигантские атомные электростанции и нефтяные вышки будут бездействовать, а города опустеют из-за нехватки энергии, необходимой для их поддержания. На этом пути нас ожидает новая эра динозавров.

В экологии существует теория — теория ортогенеза¹, согласно которой крупные животные, существовавшие на земле миллионы лет назад, были тупиком в эволюции, поскольку эволюционный механизм, приводивший к выживанию наиболее крупных животных, вместе с тем закрывал путь их дальнейшего совершенствования. Действие этих механизмов было настолько жестким, что привело к вымиранию наиболее крупных животных. Возможно, основной вопрос экологии, экономики и энергетики заключается в том, станет ли развитие социальных систем ортогенетическим?

Человечество, вероятно, выживет, так как степень его приспособляемости к изменяющимся условиям высока. Однако общества, в котором люди убеждены в том, что все полезное человеку есть благо для всей планеты, обречены на гибель.

Необходимо изменить принятые в современном обществе обычаи, движимые гуманистическими целями, и не стремиться оказывать помощь продовольствием и медикаментами населению тех стран, которое испытывает голод и страдает от эпидемий. Эта помощь приводит к тому, что ни

¹ Ортогенез — эволюция видов по предопределенному прямолинейному пути, направление которой не зависит от естественного отбора. — *Прим. ред.*

одна страна не сталкивается с серьезной нехваткой продовольствия или других видов дефицитной энергии, а продовольствие и необходимые материалы перебрасываются из других стран. Такая практика ведет лишь к тому, что принятие действенных мер по сокращению рождаемости отодвигается на неопределенное время. Сейчас, когда существует опасность истощения природных ресурсов, еще более велика угроза смерти от голода.

Одним из регуляторов численности населения являются болезни, которые оказывают большое воздействие на уровень детской смертности и смертности людей пожилого возраста. Они могут служить показателем жизнеспособности населения, приводя его численность в соответствие с существующими энергетическими ресурсами. И в наш век доля энергии, затрачиваемой на медицинское обслуживание, зависит от общего энергетического потенциала страны. Уменьшение этого потенциала приводит к сокращению энергии, затрачиваемой на медицинское обслуживание. Роль болезней как естественного механизма регуляции численности населения в будущем вновь возрастет. Причем этот механизм регуляции численности населения не связан с большими затратами энергии¹.

Еще одним естественным механизмом регуляции численности населения являются эпидемии. Определенный уровень разнообразия, существующий в природных экосистемах, является фактором, противодействующим распространению эпидемий. Распространение эпидемий приводит к вымиранию внутренних неустойчивых популяций одного и того же вида. В целях повышения урожайности человек развивает монокультурное сельскохозяйственное производство, создавая высокую плотность популяции, максимально используя сырьевые возможности и продуктивность тех

¹ Антигуманистический характер данных рассуждений авторов, предлагающих уменьшить расходы на медицинское обслуживание, с тем чтобы болезни стали регулятором численности населения, очевиден. Позиция авторов книги противостоит реальным тенденциям социального развития, ибо во всех промышленно развитых странах, особенно в странах социализма, происходит рост расходов на медицинское обслуживание, на профилактику и борьбу с заболеваниями. Авторы, по сути дела, проповедуют отказ от одного из важнейших завоеваний человечества — развития медицины и создания системы медицинского обслуживания. — *Прим. ред.*

или иных культур. Выживание этих монокультур зависит прежде всего от энергетических возможностей человека, позволяющих защитить их от болезней, которые сами по себе повышают уровень разнообразия элементов, входящих в эту экосистему. Достижение экосистемой определенного уровня разнообразия своих элементов в конечном счете означает стабилизацию потоков энергии.

Люди начинают сознавать, что они должны что-то предпринять, поскольку возникают новые условия жизни, связанные не со снижением производства энергии. Они начинают понимать, что лучше выпускать меньшее количество товаров, но повысить их качество. В наши дни выдвинуто большое число проектов, предлагающих использовать энергию низкого качества и обсуждающих лучшие пути перехода к стабильной экономике. Все эти проекты должны быть детально рассмотрены. Но уже сейчас можно сказать, что тот, кто связывает сокращение потребления энергии с дальнейшим ростом техники и использованием большого объема энергии, тот рискует ошибиться. В периоды роста экономики, обеспечивающего получение полезной энергии, существуют крупные природные ресурсы, позволяющие людям смело смотреть в будущее; в периоды спада экономики получение полезной энергии связано с большими трудностями. Поэтому человек должен сознательно пренебречь теми видами деятельности, которые не имеют большого значения для его жизни, до того, как истощатся энергетические ресурсы, необходимые для осуществления тех видов деятельности, которые имеют громадное значение для выживания человека.

Верный путь

Интересно наблюдать за теми громадными изменениями, которые происходят в энергетике, экономике и окружающей среде. Согласно развитой в данной книге концепции, далеко не всеми принимаемой, человечество должно возвратиться к земле, обратные связи между человеческим трудом и преобразуемой солнечной энергией должны увеличиться. Нам следует уже сейчас начать оказывать помощь горожанам, которые должны сменить свои профессии и заняться сельскохозяйственным трудом.

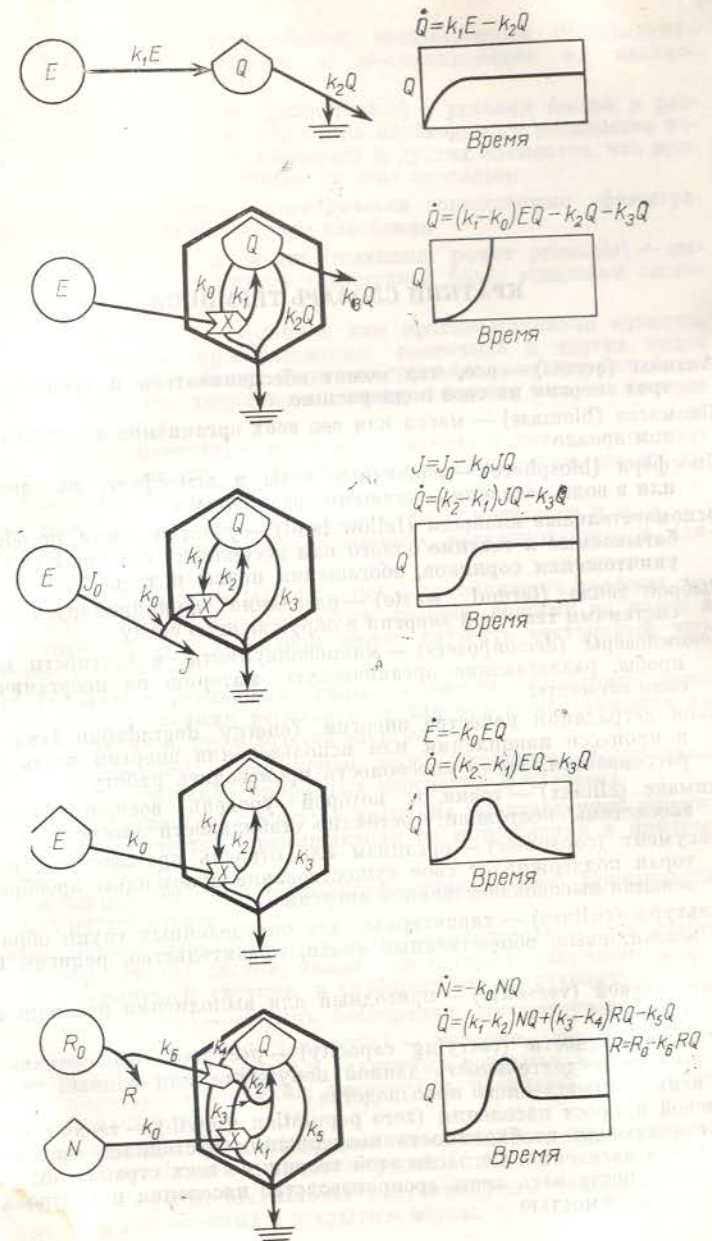
По мере уменьшения числа машин, используемых в сельском хозяйстве, нужда в человеческих руках увеличит-

ся. Сокращение производства энергии вынудит человека более разумно использовать природные ресурсы, с тем чтобы обеспечить постепенный переход к состоянию стабильности. Наша техника должна быть миниатюризирована и использоваться более бережно. Природа окажет помощь человеку, и притом в гораздо больших масштабах, чем раньше. Людям следует осознать весь круг своих потребностей и привести их в соответствие с изменившимися условиями. Путь человечества от энергетического кризиса к достижению стабильной экономики, по всей вероятности, будет тернистым, но именно он в конце концов принесет человечеству удовлетворение. Спустя много лет люди будут вспоминать о грозных раскатах XX века и его роли в достижении равновесия между человеком и природой¹.

¹ Оценка этих пессимистических пророчеств, возвращающих человечество к экономике вчерашнего дня и проповедующих неизбежность катастрофы, дана в предисловии. Следует отметить, что авторы в своих прогнозах игнорируют важнейшие особенности современного мира: резкое деление между развитыми и развивающимися странами, между капиталистической и социалистической системами, многообразие уровней промышленного и культурного развития различных стран. Эти особенности в гораздо большей степени определяют будущее человечества, чем энергетический фактор, абсолютизируемый авторами. — *Прим. ред.*

ПРИЛОЖЕНИЕ

Рис. 115. Математические управления для диаграмм гл. 5 могут быть полезны читателям, обладающим подготовкой в области физики, техники и машинного моделирования. Уравнения (по порядку) даны для моделей 1, 2, 3, 5 и 6 (для модели 4 управления не даются).



КРАТКИЙ СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

- Активы (accets)** — все, что может обесцениваться и требует затрат энергии на свое поддержание
- Биомасса (biomass)** — масса или вес всех организмов в определенном ареале
- Биосфера (biosphere)** — различные зоны в атмосфере, на земле или в воде, заселенные живыми организмами
- Вспомогательные площади (fallow land)** — участки земли, не обрабатываемые в течение одного или нескольких сезонов с целью уничтожения сорняков, обогащения почвы и т. д.
- Выброс тепла (termal waste)** — рассеяние функционирующими системами тепловой энергии в окружающую среду
- Декомпозеры (decomposers)** — микроконсументы, в частности микробы, разлагающие органическую материю на неорганические элементы
- Закон деградации качества энергии (energy degradation law)** — в процессе накопления или использования энергии часть ее рассеивается, теряя способность производить работу
- Климакс (climax)** — точка, в которой уровень воспроизводства экосистемы постоянен; состояние стабильности экосистемы
- Консумент (consumer)** — организм или отрасль производства, которая поддерживает свое существование с помощью преобразования высококачественной энергии
- Культура (culture)** — характерные для определенных групп образ жизни, язык, общественные связи, правительство, религия и т. д.
- Многоцелевой (versatile)** — пригодный для выполнения различных функций
- Несущие мощности (carrying capacity)** — ресурсы, обеспечивающие жизнедеятельность данной популяции или данный уровень промышленного производства
- Нулевой прирост населения (zero population growth)** — теория, отстаивающая необходимость поддержания постоянной численности населения. Согласно этой теории, во всех странах должны существовать лишь воспроизводство населения и контроль за рождаемостью

Обратная связь (feedback) — поток, направленный от продукта к процессу деятельности и обеспечивающий их взаимосвязь.

Олиготрофические условия (oligotrophic) — условия жизни в различных водоемах при отсутствии необходимого количества неорганических веществ, кислорода и других элементов, что приводит к низкой продуктивности этих экосистем

Осцилляция (oscillation) — периодически совершаемые флуктуации, незначительные мелкие колебания

Принцип максимизации мощи (maximum power principle) — вытеснение систем с низкой энергетикой более мощными системами

Продуцент (producer) — организм или производственная единица, которые путем преобразования солнечной и других видов энергии и переработки сырых материалов синтезируют большее количество высококачественной энергии, чем то, которое они потребляют

Разнообразие (diversity) — наличие в системе отличающихся друг от друга элементов, в частности различных видов живых организмов в экосистемах

Рост (growth) — увеличение размеров, веса, мощности и т. д.

Система (system) — сочетание элементов, организованных в единое целое

Состояние стабильности (steady state) — устойчивость системы, которая основана на равновесии потоков энергии на входе и выходе системы. Примером может служить постоянный уровень воды в реке

Спад (decline) — уменьшение силы, стоимости, ослабление функции и т. д.; термин используется для описания снижения запасов, активов, производства энергии

Среда (environment) — окружение, зона биосферы, обеспечивающая существование природных экосистем и человека

Полезная энергия (net energy) — величина произведенной энергии высокого качества, превышающая ее потребление в процессе производства

Чистая продукция (net production) — превышение производства над потреблением

Энергетическая цепь (energy chain) — последовательность энергопреобразующих систем, каждая из которых получает энергию от предыдущей системы и снабжает ею следующую

Энтропия (entropy) — степень беспорядка, обесценения

Эвтрофические условия (eutroptic) — условия, обеспечивающие высокий уровень жизни в различных водоемах, богатых неорганическими веществами, кислородом, растительностью и живыми организмами.

Экология — наука, изучающая различные связи между организмами и окружающей природной средой

Эстуарии — лиманы, экосистемы полужамкнутых прибрежных водоемов, соединенных с открытым морем.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Введение	27
Часть первая. ЭНЕРГИЯ — ДВИЖУЩАЯ СИЛА И РЕГУЛЯТОР РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ	41
Глава 1. Системы энергетических потоков	42
Глава 2. Что такое энергия?	53
Глава 3. Законы энергии	67
Глава 4. Энергия и деньги	85
Глава 5. Энергия и рост	99
Глава 6. Полезная энергия и увеличение разнообразия в системе	118
Глава 7. Энергетические процессы в экологических системах	143
Глава 8. Энергетические потоки на Земле	171
Часть вторая. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА	192
Глава 9. Энергетический базис доиндустриальных обществ	195
Глава 10. Промышленная революция и рост городов	220
Глава 11. Энергетические источники, используемые человеком	240
Глава 12. Международные энергетические потоки	273
Глава 13. Энергия и человек	297
Часть третья. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КРИЗИС И ЕГО ПОСЛЕДСТВИЯ	314
Глава 14. Энергетический кризис и инфляция	316
Глава 15. Стабильное состояние экономики	342
Глава 16. Будущее, полное надежд	357
Приложение	374
Краткий словарь терминов	376

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПРОГРЕСС»

Вышла в свет

Г. ОДУМ и Э. ОДУМ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЗИС
ЧЕЛОВЕКА И ПРИРОДЫ

И.Б. № 3457

Редактор И. В. Ульянцева
Художник Ю. Грапаков

Художественный редактор В. А. Пузанков
Технический редактор А. М. Токер
Корректор Г. А. Докшина

Сдано в набор 26.5.1978 г. Подписано в печать 23.10.1978 г.
Формат 84×108¹/₃₂. Бумага типографская № 1. Гарнитура
об. новая. Печать высокая. Услови. печ. л. 20,16. Уч.-изд.
л. 19,61. Тираж 11 000 экз. Заказ № 625. Цена 1 руб. 40 коп.
Изд. № 25495.

Издательство «Прогресс» Государственного комитета СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
Москва 119024, Зубовский бульвар, 17.

Московская типография № 11 Союзполиграфпрома при Госу-
дарственном комитете СССР по делам издательств, полигра-
фии и книжной торговли, Москва, 113105, Нагатинская, 11.

Тьюгендхэт К., Гамильтон А. НЕФТЬ.
САМЫЙ БОЛЬШОЙ БИЗНЕС. Пер. с англ.

Нефтяная промышленность занимает особое место в капиталистической экономике. Собственность нефтяных компаний оценивается в 50 млрд. фунтов стерлингов. В книге подробно описывается история нефтяной промышленности Запада, показывается, как крупнейшие компании постепенно монополизировали разработку нефтяных ресурсов, хищнически эксплуатируют их. Значительный интерес представляет анализ проблем функционирования нефтяной промышленности капиталистического мира в современных условиях.