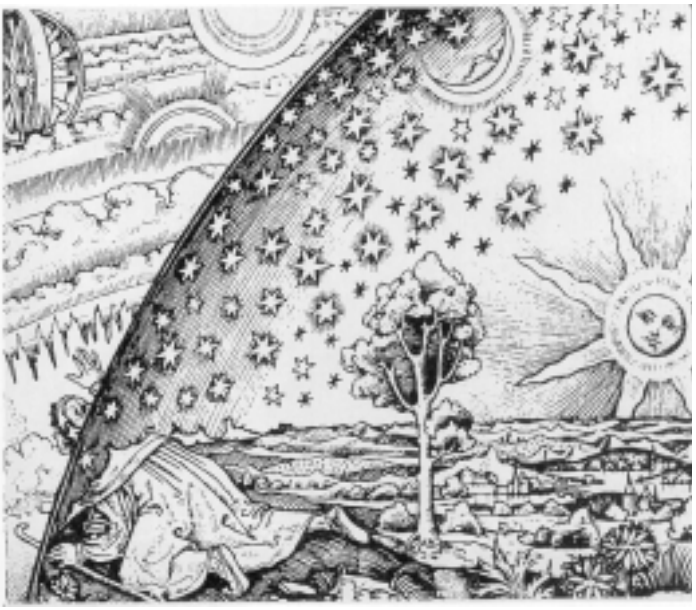
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
АЛТАЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

В.А. НОВОЖЕНОВ

КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ



Барнаул 2001

Глава 1

РАЗВИТИЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Мир, окружающий человека, представляет единое и целостное образование, в котором все явления и предметы связаны и взаимодействуют друг с другом. Следовательно, наше представление о мире должно отражаться в единстве всего нашего знания. Единство научного знания формируется в процессе взаимодействия, дифференциации и интеграции знания в ходе развития конкретной науки.

Развитие науки идет не только путем постепенного накопления все новых и новых данных, так как в этом случае не происходит отражения целостной картины развития науки. Наиболее радикальные изменения в науке свершаются в период научных революций, в результате которых пересматриваются прежние идеи, методы исследования, переосмысливаются результаты (парадигмы науки). Переход к новой парадигме науки прежде всего связан с дифференциацией и интеграцией знания. Дифференциация – это очень важный этап в развитии науки. Она направлена на более тщательное и глубокое изучение отдельных процессов и явлений в определенной области знаний. В результате такого исследования появляются отдельные научные дисциплины, возникают междисциплинарные связи, которые могут в итоге тоже выделиться в отдельные науки. В Древней Греции не было строгого разделения между конкретными областями знаний, не было и отдельных научных дисциплин. Все знания и методы исследования явлений природы существовали в единой области натурфилософии. Разделение естественно-научных дисциплин впервые произошло в эпоху Возрождения. В это время появляется экспериментальное естествознание. Исследование природы начиналось с механических процессов как наиболее простой формы движения материи.

Основы механики заложил Г. Галилей (1562–1642), занимавшийся исследованием свободно падающих тел. Галилей сформулировал управляющие механическими процессами законы изложил основы механики. В научную дисциплину механику превратил И. Ньютон (1643–1727). Затем постепенно формируются физика, химия, биология и другие фундаментальные науки о природе. Каждая наука прошла свой путь

развития. По мере научного прогресса процесс появления новых научных дисциплин все ускорялся. Несмотря на то, что при этом возрастают точность и глубина наших знаний о явлениях природы, одновременно происходит ослабление связей между отдельными научными дисциплинами и даже между отдельными ветвями одной и той же науки. Таким образом, дисциплинарный подход грозил превратить единую науку в совокупность отдельных, обособленных, узких наук.

Наука сама выработала методы и средства для преодоления ограниченности чисто дисциплинарного подхода к изучению окружающего мира. Дисциплинарный подход, ориентированный на изучение специфических, частных закономерностей конкретных явлений, не способствует открытию более глубоких общих закономерностей, а тем более фундаментальных законов, относящихся к взаимосвязанным классам явлений и целых областей природы, раскрывающих единство природы, взаимосвязь и взаимодействие составляющих ее объектов и процессов. Вследствие этого появляется новый подход, который называется интеграционным, или междисциплинарным. В этом подходе происходит интеграция научного знания, которая совершается в различных формах, начиная применением понятий, теорий и методов одной науки в другой и кончая возникшим в нашем столетии системным методом. В результате такого подхода науки делают большие скачки в своих исследованиях. Так, биология достигла очень больших успехов, начав использовать в своих исследованиях физические методы. В результате взаимодействия данных наук на их стыке возникла биофизика. Аналогично появились бионика, геохимия, биохимия и другие науки.

Конкретные, частные, специальные приемы и способы исследования в различных науках могут заметно отличаться, но общий подход к познанию, метод исследования остается в сущности тем же самым. Это так называемый системный метод, который дает возможность рассматривать объекты и явления в их взаимосвязи и целостности. Системный метод является наиболее эффективным средством интеграционных исследований. Общие приемы, принципы и методы познания можно охарактеризовать как стратегию исследования, а частные приемы и методы, используемые в отдельных науках, как тактику исследования.

Исторически сложилось так, что метод формируется в рамках практической деятельности как требование соблюдения определенной последовательности действий в процессе изготовления необходимых предметов и орудий, а также производства материальных благ вообще. С отделением физического и умственного труда и возникновением науки появляется необходимость в изучении способов получения новых знаний, а для анализа и оценки различных методов – особое учение о методе, которое называется методологией.

На эмпирической, или опытной, стадии изучения природы главным образом используются методы, опирающиеся на чувственно наглядные приемы и способы познания. К ним относятся систематические наблюдения, эксперимент и измерения.

Наблюдения являются первоначальным источником информации. В науке наблюдения существенно зависят от теории. Ведь прежде чем наблюдать что то, необходимо иметь какую-либо идею, предположение или догадку о том, что следует искать. Поэтому в науке редко бывают открытия, связанные со случайным, заранее не предусмотренным наблюдением. Систематичность, контролируемость и тщательность – характерные требования для наблюдения.

Эксперимент – важнейший метод эмпирического исследования, который специально ставится так, чтобы можно было наблюдать процессы и явления в условиях, не испытывающих влияния посторонних факторов. Явление изолируется от воздействия каких-либо несущественных факторов. Многие естественные науки совершили гигантские скачки в своем развитии именно благодаря эксперименту (атомная и ядерная физика, молекулярная биология, химия и др.). Поэтому эксперимент получил наибольшее применение в естественных науках. В настоящее время он значительно усложнился как по технической оснащенности, так и по теоретическому обоснованию. Это нашло отражение в появлении теории планирования эксперимента и методах статистической обработки результатов.

Измерения не являются особым эмпирическим методом, а составляют необходимое дополнение любого серьезного научного наблюдения и эксперимента. В настоящее время для проведения измерений используется очень сложная техника, в том числе и компьютерная.

На теоретической стадии прибегают к абстракциям и образованию понятий, строят гипотезы и теории, открывают законы науки. Процесс исследования обычно начинается с выдвижения проблемы. Последняя свидетельствует о сложности развития науки, когда вновь обнаруженные факты не удается объяснить и понять с помощью старых теорий. Возникшая проблема или проблемная ситуация требуют четкого определения, какие факты и в чем не согласуются со старыми эмпирическими и теоретическими знаниями. В качестве пробного решения проблемы выдвигается гипотеза, которая на последующих стадиях исследования подробно анализируется с точки зрения ее подтверждения имеющимися эмпирическими данными и теоретическими знаниями. Затем из гипотезы по правилам логики выводятся следствия, которые допускают эмпирическую проверку непосредственно с помощью наблюдения и эксперимента. Эмпирическая проверяемость служит важным условием научности гипотезы, так как она допускает возможность вывода следствий из гипотезы и тем самым позволяет фактически сравнить ее с данными опыта или наблюдений. Если следствие из гипотезы не согласуются с эмпирическими данными, то отвергается сама гипотеза. Значительно труднее обстоит дело с подтверждением гипотезы, которое не всегда свидетельствует об истинности самой гипотезы, так как согласно правилам логики из истинности следствия не вытекает истинность самой гипотезы. Можно говорить лишь о той или иной степени вероятности гипотезы, так как при дальнейшей проверке могут быть обнаружены факты, опровергающие гипотезу целиком или частично. Чем больше фактов, подтверждающих гипотезу, тем выше ее вероятность. Но даже и в этом случае вполне возможно обнаружение фактов, опровергающих гипотезу. Так, закон всемирного тяготения Ньютона много десятков лет считался непреложной истиной, но с разработкой А. Эйнштейном (1879–1955) теории относительности его истинность была нарушена. Дальнейшие же эксперименты, проведенные в связи с проверкой общей теории относительности, выявили и ее приближенный характер.

Особое значение для понимания единства не только естественно-научного, но и социально-гуманитарного знания имеют новые междисциплинарные методы исследования. Речь идет о системном методе, новой концепции самооргани-

зации, возникшей в рамках синергетики, а также общей теории информации, впервые появившихся в кибернетике.

Кибернетика, возникшая около полувека назад, является одним из замечательных примеров междисциплинарного исследования. Она изучает с единой точки зрения процессы управления в технических, живых и социальных системах. Хотя конкретные процессы управления стали исследовать задолго до возникновения кибернетики, однако каждая наука при этом применяла свои понятия и методы, вследствие чего трудно было выделить наиболее фундаментальные принципы и методы управления. Для этого требовалось подойти к конкретным процессам управления с более общей, абстрактной точки зрения и применить современные математические методы исследования. Одним из результатов такого подхода явилось широкое использование математических моделей и применение компьютеров. Поскольку процесс управления связан с получением, хранением и преобразованием информации, постольку кибернетика дала мощный толчок и для развития теории информации. Кибернетика является одним из специальных видов концептуальных систем, исследующих разнообразные процессы управления. Отсюда естественно подходят к общему понятию системы и системного подхода.

При системном подходе объекты исследования рассматриваются как элементы некоторой целостности или системы, связанные между собой определенными отношениями, которые образуют структуру системы. В результате взаимодействия этих элементов общие, целостные свойства системы будут качественно отличаться от свойств составляющих ее элементов и не сводиться к их сумме. Такие свойства называют эмерджентными, или возникающими, поскольку они появляются или образуются именно в процессе взаимодействия элементов системы. Свойства системы как целого не сводятся к сумме свойств частей. Так, свойства воды как жидкости качественно отличаются от свойств образующих ее составных частей: молекул воды, кислорода и водорода. Кислород и водород в свободном состоянии представляют собой газообразные вещества, свойства молекулы H_20 отличаются от свойств вещества воды. Вещество NaCl отличается по своим свойствам от молекулы NaCl. И таких примеров можно привести много.

Разные системы, встречающиеся в природе и обществе, имеют разное строение и характеризуются разными признаками. Так, химические системы отличаются от физических и биологических. Среди систем прежде всего можно выделить иерархически организованные системы, которые в своем составе содержат подсистемы различной степени общности и автономности. Особенности таких систем лучше всего можно понять на примере живых организмов, элементами которых служат клетки. Клетки образуют подсистемы, называемые тканями, которые, в свою очередь, составляют органы живого тела. Каждая из этих подсистем обладает относительной автономностью, но подсистемы низшего уровня подчинены системам высшего уровня. В целом же они составляют единый, целостный живой организм.

Для понимания процессов эволюции исключительно важное значение принимают междисциплинарные исследования, проводимые в рамках новой концепции самоорганизации, которая была названа синергетикой. Новые результаты, полученные в этой области, показывают необоснованность прежнего абсолютного противопоставления живых систем неживым и проливают новый свет на проблему возникновения живого из неживого. Эксперименты и теоретический анализ показывают, что при наличии строго определенных условий процессы самоорганизации могут происходить и в системах неорганической природы. Опираясь на эту концепцию, можно представить весь окружающий мир как самоорганизующийся универсум и тем самым лучше понять современную естественно-научную картину мира. Современная научная картина мира имеет своей предысторией постепенное накопление знаний в течение тысячелетий по мере развития человеческого общества.

Как человек познавал мир

Земля и Вселенная. Смысл этих слов сегодня понятен каждому. Но слова эти существовали не всегда. На заре человеческой истории люди жили родами и племенами на обширных пространствах Европы, Азии, Африки. Они занимались коллективной охотой на крупного зверя, рыбной ловлей, собиранием плодов и кореньев.

Вопроса «что такое мир?» люди в то время просто не поняли бы. Их миром была та среда, в которой обитали данный род или племя, – с ее реками и лесами, пещерами и облаками... Недаром в ряде языков, в том числе и в древнерусском, слово «земля» некогда означало определенную географическую область или местожительство племени, народа. «О Русская земля, ты уже за холмом!» – восклицает автор «Слова о полку Игореве», и мы понимаем, что речь идет не о земном шаре, а о районе расселения восточных славян. Мы до сих пор говорим: «Новая Земля», «Земля Мэри Берд» – и прекрасно понимаем, что это – определенные острова или районы.

А Вселенная? У этого слова тоже когда-то было иное значение. Оно является церковнославянским переводом древнегреческого слова «ойкумена» – область мира, освоенная человеком. Вслушайтесь: Вселенная, т.е. заселенная, обжитая часть. Значит, и в этом случае у древнего человека речь шла не обо всем мире, а только о той его части, которая известна и обжита человеком.

Способность ставить вопрос о мире в целом появилась у людей по-видимому очень давно – 10 или более тысяч лет назад. Из собирателя и охотника человек к этому времени стал земледельцем и ремесленником. Если вначале люди не выделяли себя из окружающей среды, считали, что их предками являются звери и птицы, растения, даже камни, то теперь, по мере развития сознания, человек стал сравнивать окружающую природу с самим собой, со своим внутренним миром. Он одушевил природу, стал верить, что существуют души деревьев и ручьев, гор и морей, растений и животных.

Но сравнение явлений природы со свойствами и деятельностью человека имело далеко идущие последствия. Человек конечен, смертен. Он рождается и умирает. Он создает вещи, которых не было, и сам же их разрушает. Из бесформенного комка глины человек лепит сосуд. Из руды он выплавляет металл и придает ему форму – превращает в боевой топор или наконечник стрелы. Он обтесывает камни и складывает из них жилище. Он бросает в землю зерна, и получается колосящееся поле. Не является ли и все существующее вокруг нас результатом деятельности какого-то неведомого творца? Не этот ли творец однажды преобразовал бесформенное вещество природы и создал из него небо и

землю, воду и воздух, растения и животных, наконец, самого человека? Так постепенно возникало представление о первоначальном мировом хаосе (беспорядке) и космосе (упорядоченной вселенной). Слово «космос» у древних греков употреблялось как в значении «порядок», «строй», «красота», так и «вселенная».

Но вот вопрос: кто превратил хаос в космос? Кто же все-таки создал мир? Ответ на него древние люди нашли в фантастическом представлении о всемогущих богах, которые творят мир и управляют им.

Мы не будем здесь останавливаться на вопросе о возникновении веры в богов – это увело бы далеко в сторону. Скажем только, что главную роль в укреплении религиозной веры в богов-вседержителей сыграл первоначально страх людей перед таинственными силами природы, а затем и силами социальными, перед неограниченной властью земных владык, стоявших во главе первых государств, возникших на Земле, когда с первобытным равенством людей было давно покончено. Одни господствуют, другие им подчиняются. Одни правят, другие на них работают. Земной владыка, окруженный приспешниками, одним своим словом может изменять судьбу многих тысяч смертных, начинать войну и заключать мир, казнить и миловать. Такая власть одного человека была непонятна, она поражала и заставляла трепетать. В результате среди всех богов люди стали выделять одного – верховного владыку неба и земли, способного силой слова творить и преобразовывать мир.

Помните, в Библии: «И сказал бог: да будет свет. И стал свет. И увидел бог свет, что он хорош, и отделил бог свет от тьмы. И назвал бог свет днем, а тьму ночью. И был вечер, и было утро: день один» (Бытие. 1:3-5). В более ранних мифах боги, создавая мир, трудятся физически, а не словесно. Например, в одном из египетских мифов бог Шу отделил богиню неба Нут от бога земли Геба и поднял ее над собой, превратив в небесный свод. Сохранился древний рисунок, изображающий это «событие». В другом мифе, созданном жителями Шумера, говорится о том, что бог неба праотец Ану и богиня земли Ки были неразрывно соединены друг с другом, пока их старший сын Энлиль не надрезал медным ножом края небосвода, отделив навсегда небо от земли. Этот миф очень напоминает рассказ о сотворении мира у народа маори, оби-

тающего на островах Тихого океана. По представлениям маори, отделение неба от земли производит бог растительности Тане, подпирающий небо своими ветвями.

Конечно, эти сказания фантастичны. Но они позволяют нам узнать, как, по представлениям древних, устроен тот мир, который создают боги, какой вид имеет созданная богами Вселенная.

Первоначально небеса изображались весьма похожими на земной мир. Древние египтяне, например, когда-то считали, что небо – плоская равнина между холмами, через которую течет небесный Нил. Бог солнца Ра ежедневно путешествует по небу в своей солнечной ладье, как египтянин по земному Нилу. В гробницу фараона ставили поэтому огромную пятивесельную ладью, на которой земной царь должен был после смерти подняться на небо, к богу.

Древние вавилоняне долгое время верили, что небо представляет собой четырехугольный шатер с подвешенными к его нижней, обращенной к земле части лампами – звездами. Только после изобретения колеса небо, по представлениям древних вавилонян, превратилось в круглый свод, медленно поворачивающийся на своей оси.

А вот свидетельство Библии: «И сказал бог: да будет твердь посреди воды, и да отделяет она воду от воды... И создал бог твердь, и отделил воду, которая под твердью, от воды, которая над твердью. И стало так. И назвал бог твердь небом... И сказал бог: да соберется вода, которая под небом, в одно место, и да явится суша. И стало так... И назвал бог сушу землею, а собрание вод назвал морями... И сказал бог: да будут светила на тверди небесной... для отделения дня от ночи, и для знамений, и времен, и дней, и годов; и да будут они светильниками на тверди небесной, чтобы светить на землю. И стало так... И поставил их бог на тверди небесной...» (Бытие.1: 6-10, 14-15, 17).

В библейском рассказе, как видим, не говорится, из чего была изготовлена небесная твердь. В шумерской легенде о сотворении мира есть намек на то, что она была сделана из олова. Слово «аннаку», которым шумеры называли олово, прямо указывает, как считают ученые, на связь его с именем бога неба Ану. Объяснение этого обстоятельства довольно просто. Жители долины Двуречья находили оловянную руду в горах, окружающих Месопотамию. Высоко ценя этот металл,

необходимый при выплавке бронзы, они сделали вывод, что кусочки олова – не иначе как обломки блестящего небесного свода.

У древних египтян небесный свод считался железным. Слова «биа ен пет», служившие для обозначения железа, буквально означают «небесная руда», т.е. руда, упавшая с неба. Дело в том, что древние египтяне познакомились с железом, представлявшим большую редкость в долине Нила, благодаря метеоритам, действительно упавшим с неба.

Современного человека поражает прежде всего само возникновение представления о какой-то небесной тверди, к которой прикреплены светила и которая отделяет некие «верхние» воды от «нижних». Чтобы понять это представление, надо выяснить, что было действительно известно нашим далеким предкам о мире.

Прежде всего, каждодневный опыт учил людей, что известная им часть мира имеет вид плоскости, постепенно возвышающейся к середине. Об этом говорило то, что где бы ни находились люди, поверхность земли плавно уходила вниз, за горизонт. Поэтому в большинстве древних космогоний земля имеет вид выпуклого диска или горы. В любом направлении за известной частью мира находились страны мало изведанные, а еще далее – и вовсе не изведанные. Но здравый смысл подсказывал, что, поскольку люди живут в центре мира, на самой возвышенной его части (а это ведь казалось всем людям, где бы они ни обитали), мир не может распространяться во все стороны бесконечно, неизведанные земли должны где-то кончиться. У большинства народов существовало поэтому представление о Мировом океане, омывающем мир.

Повседневные наблюдения говорили также, что земля неподвижна и, кроме земного мира, не может быть ничего сущего. Небесная сфера, или твердь, была при этом необходима, чтобы объяснить, откуда берется вода, падающая с небес в виде дождя, града или росы, и почему она все-таки не заливает землю. Представление о небесной тверди хорошо подкреплялось падением «небесных камней» – метеоритов.

Изо дня в день, из года в год человек убеждался на опыте, что солнце, луна, планеты и звезды движутся по небу, восходят на востоке и заходят на западе. Но если уж сложилось представление о небесной тверди, не было ничего про-

ще как прикрепить их к этой сфере и заставить двигаться вместе с ней. Для опровержения такого взгляда нужно было, по крайней мере, представить себе истинные размеры Земли и других небесных тел, их взаимные расстояния, понимать, что такое относительность движения и в чем состоит природа тяготения. Все это было книгой за семью печатями для науки того времени.

Астрономия – одна из самых древних наук. Еще на заре человечества охотники искали дорогу к своему стойбищу, ориентируясь по звездам. Большой толчок к изучению небесных явлений дал переход людей от собирательства и охоты к земледелию и скотоводству. Сроки перегона скота и получения приплода определялись прежде всего по фазам луны. Сезоны в земледелии связывались с высотой солнца над горизонтом, с годовыми изменениями положения звезд на небе.

Так повседневные производственные нужды людей оказались тесно связаны с расположением небесных светил. Но объяснить научно эту связь человек в ту пору был еще не в силах. Поэтому он стал поклоняться солнцу и луне, планетам и звездам как могущественным и прекрасным богам. Религия тесно переплелась с наблюдательной астрономией, возникли так называемые «астральные», т.е. звездные, культы. И такие процессы совершались тех территориях нашей планеты, где люди переходили к оседлому образу жизни.

Историки древнего мира говорят, что уровень, достигнутый древней астрономией, был очень высок. Это верно. Но нельзя забывать, что астрономия была в ту пору чисто описательной наукой, бессильной что-либо противопоставить религиозным представлениям об устройстве мира. От нее была совершенно скрыта действительная природа изучаемых ею явлений. Древние астрономы, например, знали множество созвездий, могли рассчитать время захода и восхода луны, солнца, планет, наиболее крупных звезд, предсказывать солнечные и лунные затмения и т.п. Но при этом они совершенно ничего не знали (и не могли знать) о том, что представляют собой Земля, планеты и звезды, какое действительное положение занимают они во Вселенной.

Поэтому размышления древних о природе небес строились главным образом на домыслах, обрастали фантастическими, часто религиозными образами. И не случайно, что в

древнем мире наблюдением неба занимались, как правило, жрецы, служители религиозного культа.

Вселенная древних была очень маленькой и тесной. И это не удивительно: ведь люди, создавая свои представления о ней, не имели другого масштаба, кроме земного. Таким образом, древние представления о масштабах мира на деле показывают, как узок был мир практики в то время. У древних греков был миф о том, что когда бог огня Вулкан уронил на землю свою наковальню, она летела целых девять дней. Подсчеты, основанные на законах свободного падения тел, показывают, что небо древних греков находилось, если верить приведенной легенде, чуть дальше орбиты Луны – там, где, с нашей точки зрения, Вселенная только начинается.

Но именно древние греки сделали первые шаги к правильному пониманию мира. Они порвали с религиозными мифами и впервые попытались понять устройство и масштабы мира с позиций науки. Исходные данные для этого они получили из путешествий и наблюдений.

Древнегреческий математик Пифагор (VI–V в. до н.э.), много путешествовавший, первым высказал мысль о шарообразности Земли. Философ Аристотель (IV в. до н. э.) доказывал, что Земля – шар, ибо в южных странах на небе появляются новые созвездия, не видимые в северных, а чем дальше мы двигаемся к северу, тем все больше появляется на небосводе незаходящих звезд. Он ссылался также на то, что во время лунных затмений тень от Земли имеет на лунном диске круглую форму. Спустя много столетий во время кругосветного плавания Магеллана это доказательство шарообразности Земли вернуло мужество его морякам, которые, находясь почти три месяца в водах Тихого океана, пришли в отчаяние, думая, что никогда уже не вернутся домой и не увидят суши.

Древнегреческий историк Геродот рассказывал услышанную им во время посещения Египта легенду о путешествии финикийцев вокруг Африканского континента. Геродот не поверил легенде, так как в ней утверждалось, будто, огибая Африку с юга и плывя с востока на запад, путешественники видели солнце в полдень с правой стороны, т.е. на севере! «Этого не может быть!» – восклицает Геродот, хотя, с нашей точки зрения, такой рассказ был лучшим доказательством пребывания финикийцев в Южном полушарии.

Постепенно идея о том, что Земля – шар, висящий в пространстве и ни на что не опирающийся, все шире распространялась среди античных мыслителей. Архимед писал: «Аристарх Самосский... полагает, что неподвижные звезды и Солнце не меняют своих мест в пространстве, что Земля движется по окружности вокруг Солнца, находящегося в ее центре».

Наконец, за 300 лет до нашей эры географ Эратосфен путем остроумного опыта попытался определить подлинные размеры земного шара. Заметив, что в день летнего солнцестояния в городе Сиене (теперь Асуан) солнце стоит в зените и поэтому освещает дно самого глубокого колодца, он измерил угол падения солнечных лучей в тот же день в Александрии. Зная расстояние между этими городами, Эратосфен легко вычислил длину окружности земного шара. Его расчеты оказались близки к современным.

Так шаг за шагом двигались люди к разгадке тайны мироздания. Однако на этом пути у них были два серьезных препятствия. Во-первых, люди не имели необходимых для наблюдения небесных тел приборов. Во-вторых, успехи античной науки были на много столетий приостановлены возникновением христианства.

Еще в древнегреческой философии возникло течение, резко противопоставлявшее небесное и земное. В то время как великий материалист древности Демокрит (V–IV вв. до н.э.) развенчивал веру в богов и отрицал божественность небесных светил, Платон (V–IV вв. до н.э.), философ-идеалист, говорил, что астрономия изучает на небе идеальный мир, соответствующий достоинствам обитающих там богов. Платон учил, что все небесные светила прикреплены к хрустальным сферам и движение их равномерно и совершенно. Все небесное, по учению Платона, вечно и неизменно. Это представление поддерживал и ученик Платона Аристотель. Он считал, что земной мир состоит из четырех элементов – огня, воздуха, воды и земли. Но этот изменяющийся «подлунный» мир простирается только до луны, за которой расположен мир совершенный и неизменный, где господствует пятый элемент – невесомый эфир. Латинское название пятого элемента – квинтэссенция – и до сих пор сохраняется в нашем языке как символ чего-то самого главного в каждой вещи, явлении.

Представления Платона и Аристотеля оказали сильное влияние на картину мира, созданную греческим астрономом Птолемеем во II в. до н.э. Птолемей пытался объяснить видимые движения по небосводу планет Солнечной системы – Венеры, Марса, Юпитера, Сатурна. Как теперь известно, путь этих светил на нашем небе приобретает сложный вид потому, что мы наблюдаем их, сами находясь в движении вокруг Солнца. Два движения складываются и дают сложную видимую кривую. Птолемей же считал, что Земля находится в центре мира и не может двигаться. Поэтому он придумал сложную схему, согласно которой Солнце оказывается на третьем месте от Земли, а каждая планета движется не только вокруг Земли, но еще и по дополнительным орбитам (эпициклам), объясняющим видимые пути планет на земном небе.

Система Птолемея легла в основу христианской космологии. По учению христианской церкви, человек – царь природы. Ради него созданы Земля и Солнце, небеса и преисподняя. Но мир, окружающий нас,– мир временный, необходимый только для того, чтобы человек мог очиститься от лежащего на нем греха. После смерти праведник переходит в иной, лучший, скрытый от наших глаз «духовный» мир, а грешник попадает в подземный ад. Поэтому в центре мира находится жилище человека – Земля, за ней следуют сферы Солнца и планет, далее расположена сфера неподвижных звезд, а еще дальше перводвигатель – начало, управляемое богом и приводящее небесные сферы в движение.

Христианская церковь господствовала в средневековом обществе, освящая феодальное угнетение и власть одних людей над другими. Систему земных отношений она перенесла на небеса. К каждой планетной сфере, по учению церкви, прикреплены разного рода «небесные силы»: серафимы, херувимы, архангелы; низший разряд небесного воинства – ангелы – отвечал за движение Луны.

Так, по мнению людей, выглядели небеса на протяжении многих лет господства христианской веры. Христианская космология, как и древние системы мира, не соответствовала действительности, но она хорошо отвечала религиозному представлению о мире и предназначении в нем человека, а благодаря птолемеевским эпициклам долгое время удовлетворяла практические потребности и не очень сильно расходилась с наблюдениями.

Рассмотренные нами этапы представлений человека о Земле и Вселенной являлись, таким образом, смесью наблюдений и домыслов. Небесный мир строился поэтому или по прямой аналогии с земным, или в прямом противопоставлении ему.

Но наука не может опираться только на здравый смысл, ограничивающийся рамками каждодневной обыденности. Она утверждает, что мир бесконечен в своих масштабах и свойствах, и то, что оказывается, бесспорно, правильным в окружающем человека земном шаре, неприменимо в мире мельчайших частиц материи – молекул и атомов или в мире бесконечно больших космических тел – звезд и галактик. Наблюдение и опыт, научные эксперименты, в конечном счете, общественная и производственная практика – вот единственно верные средства отличить истину от заблуждения, говорят ученые. Только эти средства могут подтвердить или опровергнуть смелые предположения человеческого разума.

Система Птолемея была поставлена под сомнение польским математиком и астрономом Николаем Коперником (1473–1543).

Выдающийся мыслитель, Николай Коперник в течение более чем 30 лет разрабатывал идею гелиоцентрической картины мира (от греческого «Гелиос»–«Солнце»), в соответствии с которой Земля оказывается рядовой планетой, в числе прочих обращающейся вокруг центрального светила – Солнца. Коперник решительно отбросил былые предрассудки о том, что Земля является центром мира и центром тяжести, вокруг которого якобы должны двигаться все небесные тела.

Трактат Коперника «Об обращении небесных сфер» вышел в свет лишь незадолго до его смерти, в 1543 г. Он произвел настоящий переворот в представлениях ученых о Вселенной. Коперник доказывал, что не Вселенная движется вокруг неподвижной Земли, а, наоборот, Земля перемещается в космическом пространстве. Провозглашая идею относительности движения, великий польский ученый поставил вопрос о том, что видимое нашим взором должно быть понято с учетом движения того тела, откуда ведется наблюдение.

Но идеи Коперника были поначалу только гипотезой, не доказанной фактами. Ведь и в XVI в. астрономия не обладала приборами, способными помочь человеку постичь природу небесных тел. Все известные тогда астрономические инстру-

менты имели значение для наблюдательной астрономии, помогали изучать видимые движения и положение звезд и планет на небосклоне. Эти наблюдения в конце концов тоже сыграли свою роль в создании подлинной картины мира, но они не могли рассказать людям об устройстве, размерах небесных тел и масштабах Вселенной.

Гипотеза Коперника противоречила христианскому учению о месте человека в мире. Она подрывала ту древнюю картину Вселенной, которая была закреплена в Священном писании (Библии). Однако до тех пор, пока гипотеза не была доказана, церковь не особенно тревожилась. Решительная борьба против коперниковских идей началась лишь после того, как итальянский ученый Галилео Галилей (1564–1642) направил в небо увеличительную трубу собственной конструкции.

Случилось это в конце 1609 г. Труба Галилея была, по сегодняшним представлениям, совсем маленькой: она увеличивала всего в 30 раз. Но открытия, сделанные Галилеем в течение нескольких месяцев, опрокинули все имевшиеся у людей представления о мире, его масштабах и устройстве.

Прежде всего оказалось, что небеса состоят из таких же материальных объектов, как и Земля: на Луне обнаружились горы, «моря» и долины; на Солнце – этом символе божественной чистоты – пятна (как теперь известно, возмущения солнечной атмосферы, создающие вихри на ее поверхности); Млечный Путь распался на бесчисленное множество отдельных звезд и т. д. Оказалось также, что неверна и теория о тяготении всех небесных тел к центру мира – Земле. Уже при первых наблюдениях Галилей обнаружил, что вокруг планеты Юпитер движутся четыре спутника и что, следовательно, во Вселенной помимо Земли могут быть другие центры притяжения.

Наблюдения Венеры обнаружили, что она проходит, подобно Луне, смену видимых фаз, приобретая вид то узкого серпика, то полного диска. Это было прямым доказательством ее обращения вокруг Солнца.

Так за несколько месяцев рухнула под ударами новых фактов вся средневековая картина мира. Недаром Галилея, совершившего этот научный подвиг, современники прозвали «Колумбом Вселенной».

Отстаивая старые представления, церковь потребовала от Галилея, чтобы он отказался от «коперникианской ереси». Ему было запрещено заниматься астрономией. Кроме того, за Галилеем был установлен пожизненный надзор. Однако движение науки инквизиция не могла уже остановить. Новые открытия следовали одно за другим, и процесс этот, раскрывающий перед изумленным человеческим взором всю необъятную Вселенную, продолжается и сейчас. Таким образом, изучение мира, окружавшего человека, привело к расширению его знаний о природе, к созданию целой системы наук, изучающих природу, к созданию естествознания.

Естествознание – система наук о природе, совокупность естественных наук, взятая как единое целое. Естествознание – одна из трёх основных областей человеческого знания (вместе с науками об обществе и мышлении). Предметом естествознания являются различные виды материи и формы их движения, проявляющиеся в природе, их связи и закономерности, основные формы бытия. Слово «естествознание» представляет собой сочетание двух слов – «естество» (природа) и «знание». В настоящее время под естествознанием понимают формализованное (физико-математическое) и неформализованное содержательное (например, биология, химия, география), конкретное (например, антропология) естествознание, т.е. точное знание о всем, что действительно есть во Вселенной или, возможно, есть во Вселенной. Это знание часто можно выразить в виде математических формул.

По своему содержанию и по методу изучения явлений природы естествознание может быть разделено на эмпирическое и теоретическое, а по характеру своего объекта – на неорганическое и органическое. Неорганическое естествознание имеет своим предметом механические, физические, химические и иные явления. Органическое естествознание своим предметом изучения имеет явления жизни, или живую природу. Конечно, такое деление естествознания является довольно условным, так как достаточно сложно разделить неорганические и органические вещества, то есть вещества относящиеся к живой и неживой природе.

Таким делением определяется внутренняя структура естествознания, классификация наук. В середине XIX в. целым рядов естествоиспытателей и философов, среди которых

были Ф. Энгельс и химик Ф. Кекуле, на основе тщательного изучения истории развития естественных наук были выдвинуты идеи об иерархии наук в форме четырех последовательных ступеней: механика, физика, химия, биология. В настоящее время науки о природе (или науку о природе) подразделяют на такие более или менее самостоятельные разделы, как физика, химия, биология, психология. Механика включена в физику. Среди наук о природе появилась психология.

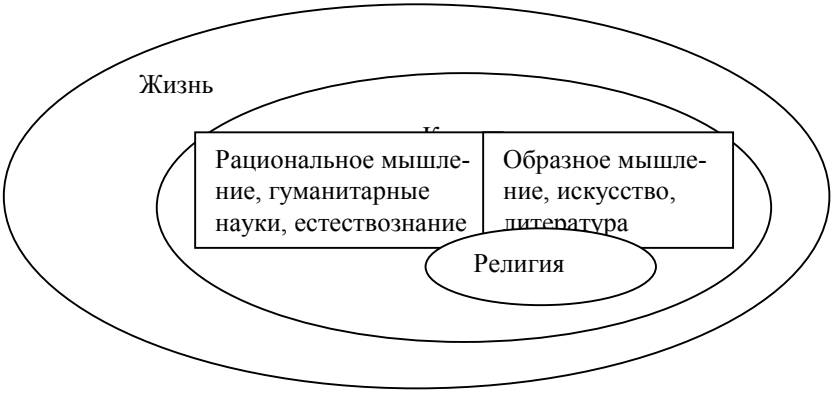
Физика имеет дело не только со всевозможными материальными телами, но и с материей вообще. Химия имеет дело со всевозможными видами субстанциональной материи, т.е. с различными веществами. Биология – со всевозможными живыми организмами. Психология изучает различные разумные существа. Но это деление достаточно условно, так как систематически возникают междисциплинарные проблемы, которые решают пограничные дисциплины (биофизика, биохимия, психофизика, физическая химия и т.д.).

Далее идет переход к общественным наукам и наукам о мышлении. Вся история естествознания показывает основу, на которой оно находится. Это логически обоснованная математика. Без математики невозможно решить никакие проблемы естествознания. Особенно эффективна математика при системном подходе к изучению природы.

Между естественными и социальными науками располагаются технические науки (включая сельскохозяйственные и медицинские). Дифференциация наук и их интеграция в процессе развития человеческого общества привели к возникновению новых наук (квантовая механика, ядерная физика, биохимия, бионика, геохимия, космохимия и др.). Особое место занимает кибернетика, представляющая собой раздел технических и математических наук, но глубоко проникающая в другие естественные и общественные науки. Естественные науки вместе с науками о человеке и обществе являются составными частями общечеловеческой культуры. Известны многие литературные произведения, внесшие вклад в развитие естествознание. Такими являются диалоги древнегреческого философа Платона (428 –348 гг. до н.э.), поэма «О природе вещей Тита Лукреция Кара (1 век до н.э.), «Естественная история» Ж. Бюффона (1707 – 1788), труды М.В. Ломоносова.

Гуманитарные науки, литература, искусство, религия сильно влияют на развитие естественных наук, на формиро-

вание мировоззрения естествоиспытателей. Ниже, на схеме приведено соотношение между сферами науки, искусства, религии, образующими то, что называют культурой. Но жизнь протекает не только в рамках культуры. Область естественных наук рациональна, построена на строгом анализе и синтезе знаний, независимо от объекта исследования. Но и в ней проявляются такие качества или понятия, как интуиция, умение предсказывать явления или события, основываясь на мельчайших деталях. Наиболее ярко



проявляется интуиция у профессионалов высокого класса.

Сфера искусства опирается на эмоциональное восприятие мира, но и здесь необходимо и знание свойств предмета и интуиция т.д.

Во взаимодействии науки, технологии, литературы, искусства возникают новые виды искусств. Так возникло книгопечатание, радио, кино, телевидение, компьютерная графика и др.

Каждый предмет природы является сложным образованием, т.е. состоит и каких-либо частей. Так, вещество может состоять из молекул, молекулы – из атомов, атом – из нуклонов и электронов, нуклоны или антинуклоны – из кварков или антикварков. Кварки в свободном состоянии не существуют и уже не имеют отдельных составных частей. Но по современным космологическим представлениям потенциально могут содержать в себе целые квазизамкнутые макромиры, имеющие собственные составные части. И это можно повторять до

бесконечности. В этом состоит макромикросимметрия Вселенной, или циклическая замкнутость ее структур.

Аналогично и естествознание как система наук о природе состоит из основных частей, последовательно вложенных друг в друга: космология, физика, химия, биология, психология. Кроме того, естествознание включает в себя многие другие, более частные естественные науки (астрономию, географию и др.).

Химия, имеющая своим непосредственным основанием физику, сама является основанием биологии и оказывается характерным ключевым примером для последовательного развертывания всего естествознания по магистральному восходящему пути от исходной физики до психологии. Психология, занимая высшее место, потенциально циклически замыкается с исходной физикой:

физика → химия → биология → психология → ------↓
↑----------←----------

Эти основные естественные науки резонно располагать на схеме не только по логическим этапам или по историческим эпохам их последовательного формирования, но и по характерным для данных наук значениям некоторой меры сложности *M*, которая для физики, химии и биологии принимает последовательные целочисленные значения *M* = 0, 1, 2. В пределе (для психологии) снова принимает нулевое значение *M* = 0. Искомая мера сложности, или так называемая мультиплетность *M*, имеет вполне определенный смысл и на самом деле принимает именно такие циклически замыкающиеся значения *M* = 0, 1, 2, 0 для однотипных по своей симметрии и дедуктивно определяемых по надлежащей математической индукции систем фундаментальных структурных элементов материи на всех четырех основных уровнях ее естественной самоорганизации: физическом (лептоны, кварки, антикварки), химическом (атомы), биологическом (аминокислоты, нуклеотиды) и психологическом (типичные разумные индивидуумы с характерными ментальными комплексами).

Надо подчеркнуть, что *M* – это не массив информации, которым располагает наука. Это уровневая величина, указывающая на уровень, занимаемый той или иной наукой. Исходное положение *M* = 0 для физики и совпадающий с ним предельный уровень *M* = 0 для психологии означают базисный, фундаментальный уровень этих наук в системе естествозна-

ния. Они оперируют минимальным числом принципов и законов природы, но принципов и законов наиболее общих, универсальных, причем взаимосвязанных друг с другом. Ведь все неисчерпаемое разнообразие природы основывается на фундаментальных физических принципах и на неразрывно связанном с ними столь же фундаментальном для космологии антропном принципе.

В каких же случаях совокупность частей может составлять нечто целое, а в каких нет?

Какие свойства должна иметь совокупность естественных наук, чтобы она могла рассматриваться как целое? Решение этого вопроса можно найти в системном подходе, или системном анализе изучаемых объектов. Суть системного подхода легче понять, рассматривая развитие химии в первой половине XIX в. В 1830-х гг. шведский химик И.Я. Берцеллиус выдвинул электрохимическую теорию химической связи, согласно которой молекулы образуются из атомов за счет электростатического притяжения разноименно заряженных атомов или атомных групп. Так, например, хлорид натрия образуется при притяжении положительно заряженного натрия и отрицательно заряженного хлора: $Na^{+}Cl^{-}$. При этом каждый из этих элементов может существовать самостоятельно. Или сульфат натрия Na_2SO_4 состоит из двух оксидов Na_2O и SO_3 , которые за счет электростатического взаимодействия образуют данную молекулу. И в этом случае оба оксида могут существовать самостоятельно.

Но в 40-х гг. XIX в. крупнейший французский химик Шарль Жерар установил, что теория Берцеллиуса может быть применена только к редким примерам построения молекул. В подавляющем большинстве молекулы состоят из атомов и атомных групп, так прочно связанных, что их самостоятельное существование без существенного изменения их качественного состояния невозможно. Распад молекул на части приводит к качественно новым веществам. Так, метан CH_4, теряя только один атом водорода, превращается в радикал метил, который в свободном состоянии существовать не может и образует этан: $CH_3 + CH_3 \rightarrow C_2H_6$. При потере двух атомов водорода образуется метилен CH_2, также не существующий в свободном состоянии и образующий этилен C_2H_4.

Молекулу Жерар назвал унитарной системой. Ученый также показал, что существует два вида множеств: множество

суммативное, или аддитивное (полученное путем простого сложения) и множество системное, или просто система. В отличие от аддитивного множества, система представляет собой такое множество элементов, в котором все элементы не только тесно взаимосвязаны друг с другом, но влияют друг на друга и качественно преобразуют друг друга. Жерар привел убедительные примеры, подтверждающие это положение. Так, один и тот же элемент водород в составе различных молекул проявляет себя в совершенно различных качествах. В молекуле водорода он нейтрален и очень прочно связан со вторым атомом водорода: энергия связи H–H равна 432 кДж/моль. В молекуле бромистого водорода HBr водород представляет собой положительно заряженный катион H^+, и энергия связи H–Br составляет 358,9 кДж/моль. В гидриде натрия NaH водород является отрицательно заряженным ионом H^-, и энергия связи Na–H составляет всего 196,7 кДж/моль. Таким образом, включая один и тот же элемент, система делает его различным в зависимости от связанных с ним партнеров.

Открытие Жерара заинтересовало философов, которые с его помощью нашли объяснение диалектическому закону перехода количества в качество, или переходу количественных изменений в качественные. Сколько бы мы ни прибавляли камней к куче таких же камней, качество камней не изменится. Совсем другое дело наблюдаем в системе. Атомарный кислород O имеет одни свойства, молекулярный кислород O_2 имеет другие свойства, а озон O_3 имеет свойства, отличные от двух предшествующих. Следовательно, изменение качества под влиянием количественных изменений может происходить только в том случае, если объект имеет системный характер.

Таким образом, система – такая совокупность элементов, в которой существуют их взаимное влияние и качественное взаимное преобразование. Система представляет единое целое, из которого нельзя отнять ни одного элемента, не изменив при этом качества всего целого.

Участвуя в выработке естественно-научной (или физической) картины мира, естествознание своей теоретической частью (понятия, категории, законы, теории, гипотезы), а также разработкой приёмов и методов научного исследования тесно примыкает к философии. Оно влияет непосредственно

на развитие философии, закономерно обусловливает смену форм материализма в зависимости от создающих эпоху естественно-научных открытий. С другой стороны, естествознание тесно связано с техникой и процессом производства. Тем самым естествознание выступает как своеобразная непосредственная производительная сила.

Общий ход развития естествознания – от непосредственного созерцания природы (в древности), через её аналитическое расчленение (XV–XVI вв.), закреплённое и абсолютизированное, к синтетическому воссозданию картины природы в её всесторонности, целостности и конкретности (XIX–XX вв.). В центре современного естествознания до середины XX в. стояла физика, нашедшая способы использования атомной и ядерной энергии, проникшая в области микромира, вглубь элементарных частиц. Физика стимулировала развитие других областей естествознания – астрономии, космонавтики, кибернетики, химии, бионики, биологии и др. Физика вместе с химией, математикой и кибернетикой помогает молекулярной биологии решать теоретические и экспериментальные задачи искусственного биосинтеза, способствует раскрытию материальной сущности наследственности. Физика помогла познанию природы химической связи, решению проблем космогонии и космологии.

В современном естествознании начинает лидировать уже не одна физика, а целая группа наук (молекулярная биология, информатика, микрохимия). Всё возрастающая роль естествознания в жизни общества особенно сказывается в современной научно-технической революции.

Современное естествознание

Современная наука представляет собой целостный динамически организованный и саморазвивающийся организм. Вместе с социально-практической основой происхождения и развития науки, с ее приложениями на практике в ней сильны также и тенденции собственной эволюции, продиктованные внутренними причинами. Такое совершенствование наук влияет как на научно-технический прогресс, так и на социальный. Традиционно принято считать, что наиболее активно на социальный прогресс влияют общественные науки, а естест-

вознание – лишь на научно-технический прогресс. Вместе с тем современный уровень состояния естествознания, обретение им более глубоких взаимосвязей с другими науками, прямое и опосредованное влияние на динамику производительных сил позволяют и ему включиться в решение общесоциальных задач. Наряду с материальным эффектом от применения достижений естествознания и математики образуется и другой, не менее значимый эффект, о котором писал известный физик В. Гейзенберг: «Само по себе... требование тщательности и трезвости (идущее от естествознания) уже принадлежит к упорядочивающим силам нашей эпохи».

Уровень развития производительных сил, особенно их характер, зависит, разумеется, не только от естествознания, но прежде всего от способа социального устройства, а нередко и от взглядов, формируемых господствующей идеологией. Однако и идеология, даже способная «очищаться» от субъективистских наслоений, не может не считаться с достижениями и прогнозами в области исследования производительных сил, с набором сконструированных и конструируемых наукой идеальных объектов, операций, отношений, которым предстоит так или иначе превратиться в реальность «второй» природы, в формы и типы искусственной среды обитания человека.

Стихийная стадия динамики производительных сил, первоначально выступающая в качестве определяющей, в условиях усиления субъективного фактора общественно-исторического процесса, оказывается все более подчиненной сознательной стадии, хотя и не всегда способной контролировать действие первой. Это естественно и, видимо, неустранимо, поскольку сознательное всегда диалектически дополняется подсознательным или преломляется в нем, а действительное как реализованное возможное вынуждает объективный процесс идти чаще всего по одному пути, отсекая при этом, как показывает история, не всегда самые неудачные варианты. Подобно тому, как, по Ф. Энгельсу, столкновение множества интересов, поступков людей рождает равнодействующую, иначе говоря, объективную социальную статистическую закономерность, так и действие сознательного фактора, сопряженного с бессознательным, а также с объективной неопределенностью, вносящей свои коррективы в создаваемый процесс, вызывает и некоторый отход от планируемых результатов, приводит к итогу, сплавленному из необходимо-

го и случайного, подчиненному рациональному замыслу и не контролируемому им.

Однако положение дел при реализации народнохозяйственных, социальных и других планов, когда элемент стихийного неустраним, не является все-таки безнадежным. На помощь в борьбе со стихийностью, с целью поисков способов эффективного ее предвидения и контроля, приходят естествознание и математика. Вместе с принципиальным общим подходом к необходимости и случайности, характерным для научной философской их интерпретации, обретают значимость частнонаучные и общенаучные концепции, выросшие из этих наук. Речь идет прежде всего о теории вероятности, которая благодаря механике, физике, кибернетике, биологии обрела широкие приложения. Вероятностный подход, распространенный в естествознании, постепенно стал проникать в гуманитарные науки и практику, позволил придать статус научности статистике, прогнозированию, проектированию, выявить некоторые основания для ориентации ученых и практиков в трудных или вовсе неопределенных ситуациях. Этот же подход внес коррективы и в философское понимание случайности. В сфере развивающейся науки статистические закономерности оказываются более масштабными и чаще приковывают к себе внимание исследователей, чем динамические. Всё это приводит к тому, что использование данного подхода в планировании социальных процессов сделает значимой поправку на их неопределенность, поможет точнее конструировать в них то, что по сути своей рукотворно.

Осознание того факта, что социальный и научно-технический прогрессы в настоящее время тесно связаны, взаимозависимы, помогает увидеть возрастающее влияние естествознания на социальный прогресс, на качество общественного устройства. Особенно это заметно на примерах решения проблем планирования, проектирования, экологии и др. Наиболее значимые, эффективные теоретические подходы к разрешению экологического кризиса, использование естественно-научных концепций, математического эксперимента приводят к выводу о необходимости согласованного действия социальной и научно-технической компонент при построении любого общества.

При проектировании оптимальной структуры общества необходима более тесная связь между философами, управ-

ленческим аппаратом, экономистами и всех их вместе – с естествоиспытателями, кибернетиками, экологами, представителями общенаучного системно-структурного подхода.

Более того, «подсказка», идущая от кибернетики, теории систем, информатики, теории управления, опирающихся на математику, оказывается значительно эффективнее и онтологически предпочтительнее, чем другие, поскольку основывается на научном прогнозировании, конструировании, предвидении. Разумеется, нельзя отрывать естественнонаучный подход от гуманистических целей общественного развития, формирование которых в значительной мере зависит от гуманитарной сферы знания и деятельности. Однако и такие цели должны соизмеряться с объективными возможностями, иначе не избежать социальных утопий и деформаций как существующих, так и искомых общественных устройств.

Тем самым, плодотворное исследование и решение наиболее сложных и актуальных проблем строительства любого общества не может обойтись без широкого применения естествознания и математики, а собственно естественнонаучные проблемы не могут быть свободными от социальных задач, социальных условий бытия любой науки и научных сообществ. Поэтому наиболее важные результаты достижимы на пути интеграции всех наук.

Естествознание как система наук о природе в своем развитии претерпело ряд модификаций. Исторически разным предстает его объект, хотя это всегда природа. Различна и историческая роль этой системы в динамике взаимосвязи науки и практики. Современное осмысление естествознания предполагает выявление способов функционирования; структурного, предметного, методологического оснащения; а также эволюционной динамики его концепций, исторических и логических взаимопереходов отражательных и конструирующих возможностей. Выбор наиболее актуальных вопросов для исследования зависит и от оценки роли внутренних механизмов в прогрессе отмеченного блока знаний или отдельных его дисциплин, и от сопряженных с ними внешних факторов. Развиваясь вначале под влиянием требований промышленности, данный блок обрел затем относительную самостоятельность, способность опережающего отражения запросов производства, определенный конституирующий статус в развитии производительных сил, в формировании «лика» цивилизации.

Материальный мир, взятый во всем многообразии, со стороны локальных и глобальных, частных и общих характеристик, назовем объектом естествознания. Это определение охватывает и общество, хотя отвлекается от его специфики. Исследуя главным образом материальную сторону общества, естествознание вступает в отношения с рядом гуманитарных дисциплин, с техническими науками. Участие естествознания в изучении общества позволяет говорить об объектном единстве общественных, естественных и технических наук.

Естествознание сегодня вплотную подошло также к исследованию святая святых философии и психологии – к сознанию. Именно эта область считалась ранее недоступной наукам о материальном мире, поскольку материя и сознание представлялись лишь как исключающие друг друга противоположности. Между тем, диалектическое понимание данных противоположностей состоит в признании их единства, взаимозависимости. В частнонаучном познании они выступали как «пересекающиеся», недоступные одной и той же специальной дисциплине. В настоящее же время идут поиски физико-биологических, даже физических оснований существования сознания.

От возможной квантовой «составляющей» человеческого организма (наряду с его социальной и биологической основой) может зависеть изменение импульса и энергии элементарной частицы в данном организме, что ведет к редукции волнового пакета и изменению вероятности результатов проведенного измерения. Тем самым явления, связанные с сознанием, при некоторых условиях ведут себя подобно физическим полям и в то же время могут существенно отличаться от них, представлять собой некую новую – отличную от частиц и полей – физическую реальность. Непосредственное осознание своего тела каким-то образом связано со способностью воспринимать физические характеристики микрочастиц, из которых составлено тело. Из-за возможности реализации маловероятных ситуаций оказывается возможным «самодвижение» тела.

Квантовые концепции сознания соединяют или отождествляют казалось бы совершенно несовместимые области – физическую квантовую реальность (материальное) и психическую (идеальное). Они устанавливают связи физики микромира, а вместе с нею и космологии, с биологией как теорией

жизни, психологией и социальной теорией происхождения и сущности человека. Отвлекаясь от факта гипотетичности данной концепции, имея в виду хотя бы идеи «выразимости» области сознательного средствами физики, можно расширить объективную сферу понятия сознания, а также физической картины мира, включив в нее не только физический универсум в целом, но и реальность корпускулярно-волнового типа (не сводимую к частицам и полям), возможно, ответственную за сознание. Средствами физики могут быть выражены не только некоторые химические, биологические, производственно-технические объекты и процессы, но и процессы либо предпосылки мышления.

Другой наукой, еще более активно вторгающейся в область сознания, является кибернетика. Как бы ни был абстрактен ее подход, однако благодаря ему создаются функциональные модели мышления, правдоподобность которых выявляется в ходе развития научного познания и практики. Кибернетика способствовала упрочению философской, а затем и биологической догадки о ведущем направлении биологической эволюции, приводящей к социальной форме движения материи. Поскольку живые организмы являются в конечном счете своеобразными информационными системами, то в естественном отборе выживают те из них, которые более эффективно перерабатывают информацию (другие условия существования таких систем принимаются равными). Так как уже экспериментально установлено, что переработка внешней информации идет за счет преобразования структур нервных импульсов, то данная переработка тем эффективнее, чем сложнее нервная система объекта, реагирующего на поступающую извне информацию. Это означает, что биологическая эволюция создает необходимые предпосылки для возникновения человека, а кибернетика, биология и теория информации в своем развитии и взаимодействии друг с другом отражают не только определенные формы единства живой природы (включая и человека), но и находят аналогию между принципом управления в живой природе и обществе, с одной стороны, и саморегулированием объектов неорганической природы – с другой.

В последние десятилетия XX в. происходит коренной сдвиг в способах, средствах, онтологических возможностях научных дисциплин в исследовании сознания. К прежним его

дисциплинам присоединяются новые, и, видимо, этот процесс закономерен. Если мнение о квантовых основах сознания проблематично, эти концепции можно считать гипотетичными, то «самоорганизационные», кибернетические (т.е. генетические и функциональные) подходы стали явью. Представляет интерес оптимистическое заявление академика А.Н. Колмогорова: «Я принадлежу к тем крайне отчаянным кибернетикам, которые не видят никаких принципиальных ограничений в кибернетическом подходе к проблеме жизни и полагают, что можно анализировать жизнь во всей ее полноте, в том числе и человеческое сознание со всей его сложностью, методами кибернетики». Путем ряда убедительных соображений он даже предполагает, что возможно «создание искусственных живых существ, способных к размножению и прогрессивной эволюции, в высших формах обладающих эмоцией, волей и мышлением». Подобная точка зрения может восприниматься как фантастическая, однако возможно, что она имеет определенный рациональный смысл.

В настоящее время не должно вызывать сомнения не только применение естествознания к исследованию любой области объективной действительности (включая всю материальную сферу общества, а также средства и результаты его практической деятельности), но и к исследованию субъективной действительности. Хотя естествознание, как и любые другие блоки наук, видит свой объект, свою реальность под доступным ему углом зрения, однако только в таком ракурсе и известен науке этот объект, т.е. материальный мир как целое либо отдельные его аспекты, фрагменты. Представления, обобщающие подобные точки зрения до их системной или синтетической целостности, не только опираются на данный блок наук, но и основываются на нем. Подобными обобщениями оказываются соответствующие научные картины мира, являющиеся сплавом философских соображений онтологического и методологического характера, фундаментальных теорий, а также конкретно-научных теорий с их эмпирической интерпретацией. Картина субъективного мира строится на основе философского познания, однако и она не обходится без естественно-научных данных.

Специфика естествознания в системе наук и в исследовании действительности

У естествознания имеются определенные преимущества перед другими науками в исследовании почти всех областей действительности. Это обусловлено многими обстоятельствами. Прежде всего тем, что оно изучает материальную сферу жизнедеятельности общества, природу, не только противостоящую ему (не зависимую от него), но и природу, задействованную им в практической деятельности, а также «сотворяемую», создаваемую в качестве искусственной среды. Приоритет материального в его взаимосвязи с творческой ролью сознания, практикой, обеспечивает преимущество естествознания в познании мира. Другой важной чертой данного блока наук является его теоретико-логическая строгость, стройность, высокая математизированность и доступность математизации, что позволяет ему быть примером для других областей знания при построении ими своих теорий. Разумеется, подражание здесь не всегда уместно, но есть ряд наук, для которых оно даже необходимо, в определенной мере эвристично, структурно оправданно.

Кроме того, в естествознании сформировались мысленный и натуральный, физический, типы эксперимента, затем они переросли в научно-производственный с его теоретико-прикладными возможностями, а в настоящее время – в машинный, или математический. Эксперимент применяют в познании объектов, трудно доступных либо вовсе не доступных иным средствам исследования, необходим в теоретическом конструировании предметов жизнедеятельности общества.

В эксперименте обрабатываются или создаются материальные структуры, которые затем так или иначе выступают в роли орудий для новых этапов познания либо преобразования вовлекаемых в соответствующий процесс объектов. Такие структуры становятся предметами-посредниками между субъектом познавательной или практической деятельности и «внешним, естественно возникшим предметом». Созданные в эксперименте, они несут на себе отпечаток объективного и субъективного, собственно природного и социального, специфично проявляют социально-практический характер естественно-научного познания, его объективность и социальную «окрашенность», оказываются объективной формой «выра-

жения познавательных норм, эталонов, объект-гипотез», превращаются в «структурообразующие компоненты познания».

Подобным качеством обладают и предметы-посредники в машинном эксперименте с той лишь разницей, что они как бы минуют этап превращения объективных форм в компоненты познания, а сразу выступают составной частью его логических структур. Машинный эксперимент основывается на численном или аналитическом решении математически поставленной задачи, иначе говоря, на математической модели, что не требует специального физического экспериментирования, а лишь предполагает обоснование правильности математической модели. Благодаря машинному эксперименту открываются возможности оперативного реагирования на сложные ситуации получения труднодоступной информации, не прибегая к опасным для человека наблюдениям и т.д.

В отличие от физического эксперимента, в подготовке, проведении и результатах обработки которого наличествуют или преобладают естествоведческие мотивы, машинный эксперимент общенаучен, применим в любых ситуациях, где возможно построение математической модели. Однако сама форма эксперимента как метода научного познания возникла и развивалась в естествознании, обрела характерное для него методологическое и оперативное содержание, по принципу преемственности «снятое» и в последующих формах.

Заметными чертами преемственности естественнонаучного эксперимента в общенаучном являются стремление к чистоте опыта, к точности правил оперирования всеми его компонентами, широкое использование идеализации, абстрагирования. Однако представители гуманитарных наук, особенно описательных, не всегда готовы к осознанному применению идеализации и других научных абстракций. Они иногда наивно полагают, что анализируемые понятия в их науках обладают всей своей полнотой. Например, концепция научного коммунизма объявлась ими теорией, а не абстрактной схемой; положение о высокой духовной культуре реального советского человека воспринималось как доказанное утверждение, а не абстракция (которая, к тому же, не стала научной, поскольку не поставлена на серьезные социальные опоры) и т.п. При таких ошибочных концепциях, выдаваемых в качестве теорий, при непонимании сущности и роли абстракций в социальном эксперименте невозможно эффективное его про-

ведение. Правильный же подход должен повлечь за собой и более ответственное отношение к выдвигаемым концепциям и более глубокое толкование инструментария, методологии естественно-научного эксперимента.

Еще одной выигрышной особенностью естествознания стало преодоление многими составляющими его науками своих объективных и методологических границ, выход их на общенаучный уровень. Особо надо отметить такие науки, как физика, кибернетика, этология, экология. Масштабы их эффективного применения превзошли границы вычлененных объектов, так или иначе охватили все другие области научного познания. В физике наряду с проникновением ее методов в химию, биологию, технику сформировались концепции, имеющие объяснительную и эвристическую значимость для исследования всех существенно важных сторон в динамике материального мира. Одной из таких концепций является упомянутая ранее многоплановая, разветвленная концепция состояний, далеких от равновесия. Ее современное содержание подготавливалось усилиями ряда выдающихся физиков и других ученых, а также группой математиков, создавших и развивших теорию катастроф. В их работах данная теория получает сегодня не только теоретическое развитие, но и нетрадиционную методологию.

На основе теорий состояний, далеких от равновесия, удалось понять или снять ряд противоречий, возникших в науке, сформулировать общий подход к целой совокупности явлений природы и общества. Таким образом, возникла новая область знания, имеющая общенаучную значимость. Она не только обусловливает новую парадигму современной физики, но и революционизирует всю науку, изменяет некоторые уже устоявшиеся выводы о мире, поскольку позволяет изучить в нем более общие и глубокие взаимосвязи (коррелятивные, кооперативные, собственно временные, пространственно-временные и др.). Эти связи тем заметнее, чем дальше от равновесия их субстраты.

Чем дальше любая система от равновесного состояния, тем больший простор у нее для развития, тем сложнее ее структура. Причем усложнение структуры сопровождается увеличением числа и глубины неустойчивостей, вероятности бифуркации, т.е. разнообразия состояний, вариантов новой организации. В описании подобных процессов существенное

значение приобретают понятия неопределенности, стохастичности, управления, кооперации, нелинейности и др. Чем больше отклонение от равновесия, тем выше единство процессов, даже протекающих в отдаленных областях и, на первый взгляд, не связанных друг с другом. Сами процессы в системах, далеких от равновесия, характеризуются нелинейностью и связанными с ней возможностями управляющего воздействия на систему и наличием обратных связей. Закономерности, выявляемые для любых систем, далеких от равновесия, обладают не только высокой общностью, но и широкой системностью, охватывают структуры, казалось бы, не имеющие родства, когда их изучали другие области знания. Более сложным и важным для науки состоянием системы являются ее открытость и отход от равновесия (или отсутствие равновесия), чем ее замкнутость и стремление к равновесию.

Концепция замкнутости системы становится по содержанию локальной (как, например, физическая теория замкнутых термодинамических систем), отчетливее выявляется и ее абстрактность, поскольку исследуется не процесс в целом, а отдельные его стороны, нередко идеализированные. Концепция же, строящаяся с учетом функциональной полноты неравновесных процессов и условий их протекания, способна описать мир в его структурном и динамичном многообразии, объяснить явления, о которых ранее не знали либо представляли их неадекватно. Ограниченность мира замкнутых систем, их стремление к физическому однообразию и в итоге к тепловой смерти либо хаосу сменяются безграничностью структурного разнообразия неравновесных систем.

Обнаруживаемые в соответствии с теорией систем, далеких от равновесия, устойчивости, появляющиеся в динамике неравновесного состояния и инициирующие поиск эффективных приложений в любой сфере человеческой деятельности, выступают моментом разнообразных, как правило, непредсказуемых модификаций с усложняющимися структурами. Иначе говоря, в данной теории имманентно представлено единство устойчивости и изменчивости, среди которых ведущей является последняя. В такой теории систем конкретизируется диалектика устойчивости и изменения, а принципы единства и развития получают общее, причем конкретное и нетривиальное содержание, обладающее высоким философ-

ским и мировоззренческим потенциалом. Таким образом, теория принципиально неравновесных систем, возникнув в физике, математике, переросла в общенаучную дисциплину и стала весомым идеальным «конструктором» в технике.

В свое время кибернетика была лишь областью биологии и математики. Создание современных ЭВМ, компьютеров 4-го поколения и выше, информатики, обретение ею машинного статуса сделали кибернетику общенаучной дисциплиной и атрибутом техники. Современный научно-технический прогресс, можно сказать, определяется способностью использовать полученные в этой области знания и их практические приложения.

Об общенаучном характере современной кибернетики отчетливо свидетельствуют многочисленные определения ее функций, задач, объекта исследования. Какими бы разными они ни были, но почти всех их объединяет подход к этой науке как универсальной области знания. Приведем одно определение, в целом представляющееся нам наиболее оптимальным: «Объектом изучения кибернетики являются управленческие процессы и системы любой природы (включая живые организмы) в информационном аспекте». Кибернетические аспекты характерны для всех известных и так или иначе вовлеченных в познавательный процесс систем. К тому же многие из них, труднодоступные для познания другими дисциплинами, доступны кибернетике. Это означает, что данная наука выступает не только общенаучной ветвью знания, но и общенаучной методологией. Широкие же и эффективные ее (кибернетики) приложения в практике утверждают статус этой дисциплины и как отрасли, определяющей преобразование техники, производства, объективных коррелятов мышления, вместе с другими общими науками утверждающей новый стиль мышления – системный, ибо именно он присущ человеку, вооруженному электронными и другими сложными машинообразными комплексами.

Об общенаучности или, по крайней мере, региональности отдельных естественно-научных дисциплин, таких как этология, экология, свидетельствует их значимость в исследовании некоторых сторон человеческого общежития. Казалось бы, этология как наука о поведении высокоорганизованных животных и их сообществ не может иметь прямого отношения к человеческому обществу. Однако непосредственная функ-

циональная и, так сказать, генетическая связь социальности в животном и человеческом сообществах, присущие первому определенные черты, проявляемые в поведении групп людей, и наоборот, формируют условия для применения ряда идей о поведении животных в отношении человека. Аналогичное можно сказать и о валеологии – науке о здоровье.

В этологической и биологической литературе в целом все чаще проводятся некоторые аналогии между сообществами термитов, пчел, обезьян, морских котиков, с одной стороны, и специфичными взаимоотношениями человеческих индивидов – с другой. Названные вопросы еще не получили у нас сколько-нибудь удовлетворительного освещения, тем более решения, но за рубежом они давно поставлены и посильно решаются. Возможно, что в скором времени произойдет смена отношения к ним. Для этого необходимы развитие собственно этологических, биологических исследований, а также пересмотр глубоко укоренившихся (со времен господства средневековых догм) представлений о человеке как «посланнике бога на Земле», о его абсолютном превосходстве над всем живым.

Хотя между представлениями об абсолютном превосходстве человека и современным философско-научным мировоззрением лежат работы классиков истории философии и убедительные научные изыскания, однако многие авторитеты в науке и идеологии не хотят всерьез отнестись к таким подходам в науке, как структурный, организменный, функциональный. Тем не менее данные подходы не уничтожают реальных преимуществ общества перед животным миром, но они подчеркивают и их определенную (функциональную, организационную и др.) аналогию. Современная этология и призывает разобраться в этом, тем более, что теория систем, далеких от равновесия, кибернетика, генетика, экология создают необходимые предпосылки.

Когда речь идет о превращении какой-либо отрасли естествознания в региональную или общенаучную, то не имеется в виду, что эта отрасль полностью отпочковалась от него. Почти в каждой из отделившихся наук, приобретших статус общенаучности или региональности, вместе с общим знанием существует и частное, характерное для специальных дисциплин. И в этологии, и в экологии, не говоря уже о физике, име-

ются комплексы проблем, задач, которые решаются этими науками как частными.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что называется естествознанием?
2. Какие науки составляют естествознание?
3. Какова классификация естественных наук?
4. Почему психологию относят к естественным наукам?
5. Почему географию не выделяют в иерархии естественных наук?
6. Что понимают под дифференциацией и интеграцией наук?
7. Каково было разделение наук в древнем мире.
8. Назовите естественные науки в эпоху Возрождения.
9. Приведите имена великих ученых-естествоиспытателей средневековья.
10. Каков вклад Г. Галилея в развитие естествознания?
11. Каков вклад И. Ньютона в развитие естествознания?
12. В чем заключается дисциплинарный подход к изучению окружающего мира?
13. В чем суть междисциплинарного подхода к изучению природы?
14. В чем суть системного метода?
15. Каково соотношение экспериментального и теоретического методов в изучении природы?
16. Как шло развитие представлений человека об окружающем мире?
17. С какими материальными объектами имеет дело физика?
18. С какими материальными объектами имеет дело химия?
19. С какими объектами имеет дело биология?
20. Что изучает психология?
21. Что лежит в основе различий биологии и психологии?
22. Каково положение математики в системе всех наук? Объясните причину этого.
23. Поясните смысл меры сложности, или мультиплетности, в науке.
24. Каково значение физики в развитии естественных наук?
25. Каково значение химии для жизни общества?
26. Какова роль биологии для жизни общества?
27. Каково взаимодействие естественных наук?

28. Каково влияние естественных наук на развитие технических наук?
29. Каково влияние естественных наук на социальные процессы в обществе?
30. Каково влияние общества на развитие естественных наук?
31. Почему общество не может успешно развиваться без развития естественных наук?
32. В чем проявляется специфика естествознания в системе наук?
33. Какова роль эксперимента и теории в естествознании?
34. Назовите равновесные и неравновесные состояния и системы.

Глава 2

ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ. ЭНЕРГИЯ

Структурность и системность материи

Структурность и системность являются важнейшими атрибутами материи. Они выражают упорядоченность существования материи и те конкретные формы, в которых она проявляется. Под структурой материи понимают ее строение в микромире, существование в виде атомов, молекул, элементарных частиц и др. В понятие структуры материи включаются также различные макроскопические тела, все космические системы мегамира. Таким образом материя в целом проявляется в существовании бесконечного многообразия систем, тесно связанных между собой. Из всего многообразия форм материи доступной для наблюдения конечная область материального мира, которая лежит в области от 10^{-15} см до 10^{20} см (примерно 20 млрд световых лет). Во времени эта область простирается до $2 \cdot 10^{10}$ лет. В этих масштабах структурность материи осуществляется в виде множества иерархически связанных систем: Метагалактика, отдельная галактика, звездная система, планета, отдельные тела, молекулы, атомы, элементарные частицы.

Системность материи – это внутренне или внешне упорядоченное множество взаимосвязанных элементов, определенная целостность, проявляющая себя как нечто единое по отношению к другим объектам или внешним условиям. Во всех целостных системах связь между элементами внутри системы является более устойчивой, упорядоченной, и внутренне необходимой, чем связь каждого из элементов с окружающей средой. Так, в неорганической природе множество объектов будет целостной системой только в том случае, если энергия связи между ними больше их суммарной кинетической энергии по сравнению с энергией внешних воздействий, направленных на разрушение системы. В противном случае, система не возникает или распадается. Энергия внутренних связей – это общая энергия, которую необходимо приложить к каждому из элементов, чтобы удалить его из системы. Внутренняя энергия связи может иметь различное значение в зависимости от характера сил, объединяющих тела в системы. С переходом от космических систем к

макроскопическим телам, молекулам, атомам, к гравитационным силам добавляются электромагнитные, которые намного мощнее гравитационных. В атомных ядрах действуют еще более мощные силы. Чем меньше размеры материальных систем, тем более прочно связаны между собой их элементы. При переходе к элементарным частицам энергия внутренних связей возрастает еще больше и сопоставима с их собственной энергией.

Долгое время атом считали последним пределом делимости материи и тем кирпичиком, из которого сложены все предметы и явления нашего мира. Но уже к началу двадцатого века выяснилось, что это не так. Были открыты электрон, протон, нейтрон и другие элементарные частицы. Число открываемых элементарных частиц все более возрастает и сейчас их известно более 300. У большинства элементарных частиц известны античастицы, отличающиеся противоположными знаками заряда и магнитного момента: электрон – позитрон, протон – антипротон, нейтрон – антинейтрон, нейтрино – антинейтрино и т.д. Все другие свойства античастиц аналогичны свойствам обычных частиц.. Из них могут образовываться устойчивые атомные ядра , атомы, молекулы и антивещество, подчиняющееся тем же законам, что и обычное вещество. При соприкосновении вещества с антивеществом происходит аннигиляция: превращение частиц и античастиц в фотоны и мезоны больших энергий.

Вещество и поле

Основные формы материи часто делят на вещество и поле. Такое деление имеет некоторый смысл, но оно ограничено. Под веществом понимают различные частицы и тела, которые обладают массой покоя. Поля и их кванты массы покоя не имеют, хотя обладают энергией, импульсом и множеством других свойств. Поле и вещество нельзя противопоставлять друг другу. В структуре вещества все внутреннее пространство «занято» полями. На долю собственно частиц приходится ничтожная часть общего объема системы- примерно 10^{-36} – 10^{-40} объема, т.е. поля входят в структуру вещества. В тоже время квантами полей выступают частицы, относящиеся к веществу. В этой неразрывной связи видно одно из важнейших проявлений единства прерывности и непрерывности в структуре материи.

Частицы обладают относительной прерывностью и локализованностью в пространстве, поля же непрерывно распределены в нем. При этом поля не являются абсолютно континуальными средами, т.е. не являются сплошными материальными средами. При излучении и поглощении они проявляются относительно дискретно -–в виде квантов, фотонов, мезонов и т.д. Кванты полей взаимодействуют с частицами вещества как дискретные образования. Частицы вещества также нельзя представлять в виде каких-то микроскопических шариков с абсолютно четко очерченными гранями. Частицы неотделимы от полей и не существует абсолютно резкой границы, где кончается частица и начинается ее внешнее поле. В пограничной области существует непрерывный взаимопереход полей и частиц. Микрочастицы вещества обладают двойственной природой: природой частицы и волны одновременно. Их волновые свойства описываются уравнением волны де Бройля $\lambda = \frac{h}{mv}$, где h- постоянная Планка, m –масса частицы, v – скорость ее движения.

И поле, и вещество обладают определенными физическими параметрами. Так, волна описывается длиной, фазой, амплитудой и их изменениями во времени и пространстве. Частица характеризуется иным набором параметров: спин, заряд, масса покоя, время жизни и ряд квантовых чисел.

Важнейшей характеристикой микрочастицы является спин, собственный момент количества движения. В классической механике такая величина характеризует вращение тела. Но для микрочастиц такое определение теряет смысл, так как элементарные частицы невозможно представить вращающимися крохотными волчками.. Для микрочастиц спин характеризует внутреннюю степень свободы, обеспечивающую ей дополнительное физическое состояние. В отличие от классического момента количества движения, который может принимать любые значения, спин квантуется, т.е. принимает определенные дискретные значения, пропорциональные постоянной Планка. Коэффициент пропорциональности называется спиновым квантовым числом. У одних частиц он имеет целочисленное значение (0,1,2….), а у других – полуцелые значения (1/2, 3/2…).

ПРОСТРАНСТВО и ВРЕМЯ – основные формы существования материи и в этом проявляется их универсальность и все-

общность. Традиционно считается, что пространство трёхмерно. Время имеет одно измерение. Прост-ранство выражает порядок расположения одновременно существующих объектов. Время показывает последовательность существования сменяющих друг друга явлений – от прошлого к будущему. Развитие естествознания показало, что пространство и время не могут существовать независимо от материальных процессов и отдельно друг от друга. Пространство и время не просто связаны с движущейся материей. Движение материи – это сущность пространства и времени. Естествознание XVII–XIX вв., трактуя объективность пространства и времени, рассматривало их, вслед за Ньютоном, в отрыве друг от друга, как нечто самостоятельное, существующее совершенно независимо от материи и движения. В соответствии с атомистическими взглядами древних натурфилософов (Демокрит, Эпикур) естествоиспытатели почти вплоть до XX в. отождествляли пространство с пустотой, считая его абсолютным, всегда и повсюду одинаковым и неподвижным, а время – протекающим равномерно. Современная физика отбросила старые представления о времени как едином для всей бесконечной Вселенной и о пространстве как пустом вместилище тел.

Переворот в представлениях о пространстве и времени

Макс фон Лауэ, автор первой монографии по теории относительности, вышедшей в 1911 г., указывал позднее в своей «Истории физики» на то, что с античных времен наибольшее волнение у людей вызывали те физические теории, которые посягали на традиционные представления о пространстве и времени. Именно поэтому работы А. Эйнштейна по этим проблемам привлекли к себе столь необычно большое внимание. Были опубликованы тысячи книг и брошюр, авторы которых выступали как в защиту теории относительности, так и против нее.

Исследования Эйнштейна по теории относительности открывались статьей «К электродинамике движущихся тел» объемом в 30 печатных страниц, опубликованной в 1905 г. в журнале «Аннален дер физик». Именно эту статью и следует считать фактическим «свидетельством о рождении» теории относительности. В том же 1905 г. в упомянутом журнале появилось существенное дополнение к первой статье. Статья носила название

«Зависит ли инерция тела от содержащейся в нем энергии?» Обе эти статьи вошли в опубликованный в 1913 г. томик «Принцип относительности», представлявший собой сборник основополагающих документов по истории теории относительности.

Каково было положение в физике с вопросами пространства и времени, которые рассматривал Эйнштейн в своих исследованиях по теории относительности?

В XIX столетии первоначально господствовала механическая теория света. Согласно этой теории, свет представляет собой волновое движение некоторой упругой среды, которую называли световым эфиром или просто эфиром. Предполагалось, что эфир проникает через все тела, не принимая, однако, участия в их движении. Поскольку с течением времени стало все труднее согласовывать новые результаты исследований в области оптики с механической гипотезой эфира, физики решили трактовать свет как некое особое «состояние» эфира. Такое состояние предполагалось рассматривать как электромагнитное силовое поле, которое было введено в науку Фарадеем и описано Максвеллом с помощью удивительной системы абстрактных математических уравнений.

Учение о световом эфире было тесно связано с взятым из «Механики» И. Ньютона представлением об «абсолютном пространстве». Ньютон писал: «Абсолютное пространство остается в силу своей природы безотносительно к какому-либо внешнему предмету всегда одинаковым и неподвижным».

В соответствии с представлением о неподвижном световом эфире, его считали как бы воплощением «абсолютного пространства» и рассматривали как абсолютную систему отсчета. В такой системе можно было бы однозначно описывать все происходящие в мире движения, указывая абсолютное положение тел.

Кроме того, Ньютон придерживался мнения, что существует и «абсолютное время». Он писал: «Абсолютное, истинное и математическое время течет само по себе и в силу своей природы равномерно и безотносительно к какому-либо внешнему предмету».

Согласно этому воззрению, существует равномерное течение времени. Следовательно, можно представить себе, что во Вселенной имеется нечто вроде «нормальных часов», позволяющих отсчитывать ход этого «абсолютного времени» из любого места. Наконец, в соответствии с представлениями об «абсолютном пространстве» и «абсолютном времени» Ньютон гово-

рил и об «абсолютном движении»; он определял его как «перемещение тела из одного абсолютного места в другое абсолютное место».

Несмотря на возражения, высказывавшиеся в свое время Лейбницем, ньютоновское представление об абсолютном времени, пространстве и движении считалось неоспоримым на протяжении двухсот лет. Ни один физик не мог серьезно помыслить и тем более отважиться поставить под сомнение принципы Ньютона.

Первым, кто выступил с критикой этих принципов, был Эрнст Мах. В своей «Механике» он подверг нападкам взгляды Ньютона на абсолютные время, пространство и движение и попытался их опровергнуть. Критикуя ньютоновские догмы, Мах руководствовался положением, что «чувственно необнаруживаемое» лишено для естествознания какого-либо значения и не имеет права на существование. Требование, заключающееся в том, что в естественно-научное рассмотрение следует вовлекать только наблюдаемые величины и не применять законы физики за пределами той области, в которой они имеют смысл, играло для молодого Эйнштейна важную эвристическую роль в период его работы над теорией относительности.

В экспериментальной физике ньютоновские догмы о пространстве, времени и движении также оказались поставленными под сомнение. Земля движется по своей орбите вокруг Солнца со скоростью около 3О км/с. Наша Солнечная система летит в мировом пространстве со скоростью около 2О км/с. Наконец, наша Галактика также со значительной скоростью движется относительно других, удаленных от нее галактик. Следовательно, если световой эфир покоится в «абсолютном пространстве», а небесные тела проходят через него, то их движение по отношению к эфиру должно вызывать заметный «эфирный ветер», который можно было бы обнаружить с помощью тонких оптических приборов.

Для выяснения этого вопроса американский физик польского происхождения Альберт Майкельсон, работавший в 1881 г. у Гельмгольца в Берлине и Потсдаме, поставил свой первый эксперимент. Согласно гипотезе о неподвижности эфира, можно наблюдать «эфирный ветер» при движении Земли сквозь эфир. Следовательно, скорость света по отношению к Земле должна зависеть направления луча света относительно направления ее движения в эфире. Майкельсон проводил свои опыты с помощью

сконструированного им интерферометра с разными плечами: одним по движению Земли, другим – перпендикулярно к нему. Если эфир неподвижен, то при повороте прибора на 90^{o} разности хода лучей должны менять знак и интерференционная картина смещаться. Но смещение интерференционной картины не было обнаружено. Отрицательный результат эксперимента еще нельзя было считать вполне убедительным, поскольку экспериментальная установка в то время обладала некоторыми дефектами. Через несколько лет (в 1885-87 г.), находясь в США, Майкельсон совместно с У. Морли повторил этот эксперимент с помощью разработанного им и изготовленного с большой точностью зеркального интерферометра. Новая измерительная установка была настолько прецизионной, что могла бы отчетливо зарегистрировать даже самый незначительный эффект, обусловленный «эфирным ветром». Однако и на этот раз, как и при всех последующих попытках повторения опыта, ничего похожего на подобный эффект обнаружено не было. Скорость света оказалась совершенно постоянной и не зависящей от движения источника света и наблюдателя. «Опыт Майкельсона», один из самых знаменитых экспериментов в истории физики, имел фундаментальное значение для теории относительности, что подтверждал сам Эйнштейн, восхищавшийся экспериментальным искусством Майкельсона. В 1964 году американские физики повторили опыт Майкельсона с использованием в качестве источника света двух одинаковых гелий-неоновых лазеров, обладающих очень высокой степенью монохроматичности и простанственной когерентности, и снова получили отрицательный результат.

Отрицательный результат эксперимента Майкельсона опровергал существование эфира. Первоначально делались попытки согласовать укоренившуюся в сознании физиков гипотезу эфира с фактом постоянства скорости света и таким образом «спасти» эфир. Так, например, голландский физик Г.А. Лоренц в 1895 г., т.е. за десять лет до Эйнштейна, пытался согласовать результат опыта Майкельсона с механистической картиной мира с ее световым эфиром и «абсолютным пространством». Для этого он ввел предположение, что быстро движущиеся тела испытывают сокращение в направлении своего движения («сокращение Лоренца»). Это было хотя и очень остроумное, но все же достаточно искусственное допущение, которое явно имело характер специально придуманной для данного случая гипотезы, и поэтому не могло надолго удовлетворить физиков-теоретиков.

Результаты опыта Майкельсона создали для теоретиков логические трудности, которые казались непреодолимыми. Это был своего рода неразрешимый гордиев узел. Молодой Эйнштейн разрубил его.

Еще школьником Эйнштейн обратил внимание на ту роль, которую играет скорость света. Он много размышлял о том, какую картину видел бы наблюдатель, если бы он мог следовать за световой волной со скоростью света. Этот первый мысленный эксперимент в сочетании с электродинамикой Максвелла, отрицательным результатом опыта Майкельсона и маховской критикой основ механики Ньютона лег в основу теории относительности.

В своей автобиографии Эйнштейн следующими словами охарактеризовал отправную точку этих исследований: «Необходимо было составить себе ясное представление о том, что означают в физике пространственные координаты и время некоторого события».

Анализ роли времени непосредственно привел к исследованиям по теории относительности. Эйнштейн начал с изучения понятия одновременности. Полученные им результаты могут быть резюмированы следующим образом. Если бы передаваемые сигналы могли распространяться с бесконечно большой скоростью, то с научной точки зрения имело бы полный смысл говорить об абсолютной одновременности событий, происходящих в двух удаленных друг от друга точках. Но так как скорость света, представляющая собой максимальную скорость передачи сигналов, все же конечна и при том имеет одну и ту же величину для всех наблюдателей, понятие «абсолютной одновременности» лишено физического смысла и поэтому не может применяться в теории.

Поскольку все суждения, в которых какую-то роль играет время, всегда представляют суждения об одновременных событиях, введение представления об относительном характере понятия одновременности с логической необходимостью влечет за собой и релятивизацию понятия времени. Если невозможна абсолютная одновременность, то не может существовать и абсолютное время, одинаковое во всех системах координат. Каждая система отсчета имеет свое собственное время, свое «локальное время». Ключевым моментом всей проблемы, как отметил впоследствии Эйнштейн, было постоянство скорости света в пустом пространстве. Признав это постоянство, которое было

доказано опытом Майкельсона, уже нельзя было избежать релятивизации времени.

Учение Эйнштейна о времени было совершенно новым словом в науке. Ни один физик или философ до него не размышлял так глубоко о понятии одновременности и не пришел к столь далеко идущим выводам. Руководствуясь требованиям Маха о том, что понятия и величины, не имеющие физического смысла, не должны фигурировать в теории, поскольку они принципиально не могут быть проверены на опыте, Эйнштейн пришел к выводу о необходимости отказа от ньютоновского понятия «абсолютного времени».

Так как время и движение тесно связаны друг с другом – время, как говорил Маркс, есть «количественное бытие движения», – в результате признания относительности понятия времени устраняется также и понятие «абсолютное движение». Движение тела или системы отсчета можно сравнивать лишь с движением другого тела или другой системы отсчета и только по отношению к ним можно численно его определять. «Абсолютного движения» не существует. «Специальный принцип относительности» Эйнштейна утверждает, что во всех системах отсчета, движущихся по отношению друг к другу прямолинейно и равномерно, действуют одни и те же законы природы. При переходе от одной системы отсчета к другой, пространственные и временные координаты преобразуются в соответствии с особыми уравнениями, которые называются преобразованиями Лоренца. Лоренц вывел свои преобразования в 1904 году. Пусть t и t^1 –интервалы времени в системах, которые движутся со скоростью V, x – пространственная координата, c – скорость света. Тогда

$$t^1 = \frac{t - \frac{Vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \quad ; x^1 = \frac{x - Vt}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}.$$

События, одновременные для одного наблюдателя (t=0) будут неодновременными для другого ($t^1 \neq 0$). Отсюда, понятие одновременности относительно.

Созданная в 1905 г. теория относительности привела к тому, что гипотеза эфира как носителя световых волн была устранена

из физической картины мира. Как позднее писал Эйнштейн, световой эфир и без того влачил «призрачное существование» в физической науке. Эйнштейн заменил эфир электромагнитным полем, которое он рассматривал как самостоятельную физическую реальность. Это также было смелым нововведением. Правда, уже до него французский физик Пуанкаре предлагал отказаться от гипотезы эфира, но он не положил это требование в основу новой картины природы. «Безэфирная физика» была создана Эйнштейном.

Однако произведенный теорией Эйнштейна переворот в оптике не сразу получил признание. Многие известные физики еще долго не могли примириться с отказом от гипотезы светового эфира. Даже Лоренц, который внес столь значительный вклад в подготовку специальной теории относительности, до самой своей смерти, последовавшей в 1928 г., не мог полностью смириться с мыслью о том, что эфира как носителя световых явлений не существует.

Сегодня гипотеза светового эфира стала в такой же степени достоянием истории физики, как, например, учение о флогистоне, или особой «огненной субстанции», уходящей из тел при их сгорании. Подобно другим рабочим гипотезам, которые на протяжении определенного времени выполняли свою задачу и служили делу научного исследования, она сыграла свою роль и вошла в историю науки.

Устранение гипотезы светового эфира было гениальным актом отрицания. Позитивным же моментом в теории Эйнштейна была прежде всего формулировка принципа, согласно которому скорость света в пустоте (обозначаемая буквой ***c***) вводилась в качестве универсальной постоянной во все основные физические законы.

Эйнштейн первый заметил, что скорость света играет в механике такую же важную роль, как и в оптике. Скорость света выступает здесь как недостижимый верхний предел скоростей для всех процессов, сопровождающихся передачей силы или переносом энергии. Скорость этих процессов никогда не может достичь скорости света и тем более превзойти ее, даже в том случае, когда к начальной скорости добавляется сколь угодно большое число скоростей.

Из постоянства скорости света вытекают два знаменитых «парадокса» теории относительности, которые привлекли к себе очень большое внимание и в течение многих лет являлись

предметом горячих споров. Физики и философы, которые были не в состоянии избавиться от традиционных механистически-метафизических представлений, либо яростно возражали против этих «бессмысленных» следствий теории относительности, либо высмеивали их. Но даже тем, кто был готов следовать за Эйнштейном в его необычных рассуждениях, подчас было нелегко соглашаться с ним.

Один из парадоксов заключается в том, что размеры быстро движущихся тел сокращаются в направлении их движения по сравнению с их длиной в состоянии покоя. Именно эта проблема, возникшая в связи с результатом опыта Майкельсона, побудила Лоренца выдвинуть его электродинамическую гипотезу сокращения. Эйнштейн показал, что сокращение можно объяснить, рассматривая относительную скорость движения обеих систем отсчета.

Другой парадокс касается замедления хода часов в быстро движущейся системе по сравнению с часами, находящимися в системе, покоящейся по отношению к первой. Предсказываемый релятивистской теорией эффект замедления времени состоит в том, что с точки зрения движущегося относительно рассматриваемой системы наблюдателя все интервалы времени (t'), характеризующие процессы в этой системе (колебания маятников часов, распад нестабильных частиц, старение биологических организмов и т.д.) увеличиваются по сравнению с интервалами, наблюдаемыми в самой этой системе (t_0):

(1) $$t' = \frac{t_0}{\sqrt{1-(v/c)^2}} > t' \quad .$$

Для находящихся же в самой рассматриваемой системе наблюдателей происходящие в ней процессы протекают совершенно нормально, а время у движущегося наблюдателя "течет замедленно".

Эффект сокращения расстояний состоит в уменьшении длин отрезков с точки зрения наблюдателей, перемещающихся вдоль этих отрезков (отрезки, ориентированные перпендикулярно скорости относительного движения сохраняют свою длину неизменной):

(2) $$\begin{cases} l_{\parallel}' = l_{0\parallel}\sqrt{1-(v/c)^2} \\ l'_{\perp} = l_{\perp} \end{cases}$$

Описанные эффекты проявляются лишь при скоростях, сравнимых со скоростью света и в настоящее время экспериментально зарегистрированы в пучках ультрарелятивискских частиц, создаваемых на современных ускорителях. Например, короткоживущие частицы (время жизни τ_0), двигаясь с околосветовыми скоростями, вопреки классическим представлениям, достигают приемника, удаленного на расстояние, значительно превышающее $l = c \cdot \tau_0$. С точки зрения неподвижного наблюдателя это явление можно объяснить эффектом замедления времени (1), "удлиняющим" жизнь частицы, с точки зрения наблюдателя, движущегося вместе с частицей - эффектом сокращения расстояния до мишени, "летящей ему навстречу" (2). Здесь речь идет о «дилатации» времени, которую называют также растяжением или искажением времени.

Из нее, например, должно следовать, что космонавт в космическом корабле, который в течение длительного времени с очень большой скоростью летит через Вселенную, при своем возвращении на Землю окажется моложе своего брата-близнеца, остававшегося все это время дома. Это объясняется тем, что часы космонавта, а вместе с ними и все физиологические процессы идут медленнее, чем часы (и соответственно аналогичные процессы) на Земле. Разумеется, для того чтобы можно было заметить «парадокс часов» (или «парадокс близнецов»), скорость движения космического корабля должна быть достаточно близка к скорости света – условие, которое в современной космонавтике не выполняется даже отдаленно.

При больших скоростях меняется также закон сложения скоростей

$$V = \frac{V_1 + V_2}{1 + \frac{V_1 V_2}{c^2}}.$$

Из уравнения видно, что при сложении результирующая скорость всегда меньше скорости света. Скорость света, сложенная с любой скоростью, дает одно и тоже значение с.

Пока отсутствовали экспериментальные доказательства релятивистского растяжения времени, существование этого явления оспаривалось особенно горячо. В конце 30-х гг. оно, однако, было бесспорно установлено в опытах с возбужденными водородными атомами. Но с особой убедительностью оно было доказано позднее при изучении космических лучей, где частицы движутся с чрезвычайно большими скоростями, и поэтому растяжение времени достигает сравнительно больших значений.

Специальная теория относительности Эйнштейна (1905 г.) означала конец механистической картины природы. Она представляла собой один из величайших переворотов в истории естествознания и одновременно торжество диалектики в основах физической науки. Эйнштейн «снял» в диалектическом смысле механистически-метафизическое представление о времени и движении, нашедшее выражение в классических законах движения Ньютона. Теперь ученые рассматривают законы Ньютона как значения более общего закона для скоростей, малых по сравнению со скоростью света. Метафизическое мировоззрение Ньютона, которое в свое время было необходимым и оправданным, столкнулось в ходе физического прогресса с непреодолимыми трудностями. Силой своего диалектического мышления Эйнштейн преодолел эти трудности и наметил пути дальнейшего развития физики. Его заслуги нисколько не умаляет то обстоятельство, что другие исследователи еще до него разработали формально-математические решения назревших проблем электродинамики движущихся тел.

Лишь немногие физики смогли сразу же понять, что теория Эйнштейна представляет собой гениальное открытие. К их числу принадлежал Макс Планк – первый известный теоретик того времени, который оценил эпохальное значение статьи Эйнштейна «К электродинамике движущихся тел». «Эйнштейновская концепция времени, – так заявил Планк в одной своей лекции, – превосходит по смелости все, что до этого было создано в умозрительном естествознании и даже в философской теории познания». Однако многие выдающиеся специалисты, в особенности среди физиков-экспериментаторов, еще долгое время относились к учению Эйнштейна с недоверием.

Математическое завершение специальная теория относительности получила в работах Германа Минковского, который ранее был учителем Эйнштейна в Цюрихе, а затем занимал пост профессора математики в Геттингене, где он умер в 1909 г., будучи еще в полном расцвете сил. В своем вызвавшем сенсацию докладе о пространстве и времени, прочитанном им осенью 1908 г. на собрании естествоиспытателей в Кельне, Минковский сказал: «Представления о пространстве и времени, которые я собираюсь развить перед вами, выросли на почве экспериментальной физики. В этом заключается их сила. Они приведут к радикальным следствиям. Отныне пространство само по себе и время само по себе полностью уходят в царство теней, и лишь своего рода союз обоих этих понятий сохраняет самостоятельное существование».

С тех пор четырехмерный континуум пространства-времени, так называемый «мир Минковского», стал неотъемлемой частью теории относительности.

Два важных следствия

Из специальной теории относительности вытекают два важных следствия. Они касаются взаимозависимости между массой и скоростью, а также между массой и энергией. Диалектический характер этих проблем представляется очевидным. Найденное Эйнштейном решение выходит по своему значению далеко за пределы круга результатов, представляющих чисто научный интерес.

До Эйнштейна инертная масса, т.е. инерциальное сопротивление тела, рассматривалась как неизменная величина. Это соответствовало механистически-метафизическим представлениям ньютоновской натурфилософии. Еще в 1895 г. в докладе на Собрании естествоиспытателей в Любеке Освальд ссылался на классическое представление о неизменности массы. Однако вскоре после этого, в 1901 г., физики-экспериментаторы обнаружили в опытах с быстро движущимися электронами, что масса электрона возрастает при увеличении скорости. Теперь этот факт получил научное обоснование в эйнштейновской теории относительности.

Пока скорость движущегося тела мала по сравнению со скоростью света, возрастание массы, обусловленное движением,

остается незначительным. Поэтому в классической механике, имеющей дело с малыми скоростями больших тел, такое возрастание не обнаруживается. Наоборот, в релятивистской механике увеличение массы играет важную роль. Правильность этого вывода Эйнштейна была практически доказана атомной физикой, когда были созданы гигантские установки для ускорения элементарных частиц.

Второе следствие еще более важно. Его значение выходит далеко за пределы физики и техники. Оно определяет судьбы народов и будущее всего человечества.

Вскоре после опубликования статьи «К электродинамике движущихся тел» Эйнштейн писал своему другу Конраду Габихту: «Мне пришло в голову еще одно следствие электродинамической работы. Из принципа относительности в сочетании с фундаментальными уравнениями Максвелла следует, что масса должна быть непосредственной мерой энергии, содержащейся в теле; свет переносит массу. У радия должно происходить заметное убывание массы. Это соображение радует и подкупает. Однако не смеется ли по этому поводу и не водит ли меня за нос господь бог – этого я не могу знать».

Результаты, вытекающие из такого «радующего и подкупающего соображения», Эйнштейн изложил в уже упоминавшейся выше статье о связи между инерцией тела и содержащейся в нем энергий. Упомянутая статья объемом в три печатных страницы принадлежит к самым коротким и в то же время ни с чем не сравнимым по важности последствий публикациям в мировой истории естествознания. Она содержит основные положения закона об эквивалентности массы и энергии. Закон изменения массы со скоростью имеет вид:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}},$$

где m –масса движущегося тела, m_o – масса покоя.

Отсюда, масса тела и его энергия оказываются связанными величинами: масса тела есть мера содержащейся в нем энергии. Если энергия E меняется на величину ΔE, то масса меняется соответственно на величину Δm.

Математическим выражением закона Эйнштейна является всемирно знаменитая, теперь уже почти вошедшая в поговорку формула $E = mc^2$. Она гласит, что любой перенос энергии (E) всегда связан с переносом соответствующей массы *(m),* а квадрат скорости света **c** играет здесь роль коэффициента пропорциональности. Эта формула также трактуется как выражение, описывающее «превращение» массы в энергию. Именно на этом представлении основано объяснение так называемого дефекта массы. В механических, химических, тепловых и электрических процессах он слишком мал и поэтому оставался незамеченным. Однако в атомной физике он имеет большое значение. Дефект массы заключается в том, что сумма масс отдельных составных частей атомного ядра может быть больше массы атомного ядра в целом. Это следует понимать таким образом, что недостающая масса превратилась в энергию связи, необходимую для удержания в ядре входящих в его состав частей. Атомная энергия есть не что иное, как превратившаяся в энергию масса. В искусственно вызываемых ядерных реакциях происходит освобождение этой могучей энергии.

Открытая Эйнштейном эквивалентность массы и энергии позволила упростить все физические законы сохранения. Оба закона – сохранения массы и сохранения энергии, – до этого существовавшие отдельно друг от друга, превратились теперь в один общий закон, который можно сформулировать следующим образом: для замкнутой материальной системы сумма массы и энергии остается неизменной при любых процессах.

Главным выводом теории относительности Эйнштейна является как раз установление того, что пространство и время существуют не сами по себе, в отрыве от материи, а находятся в такой тесной универсальной взаимосвязи, в которой они теряют самостоятельность и выступают как относительные стороны единого и неделимого пространства-времени. Наукой доказано, что течение времени и протяжённость тел зависят от скорости движения этих тел, и что структура или геометрические свойства этого четырёхмерного континуума (пространства–времени) изменяются от скопления масс вещества и порождаемого ими поля тяготения. Тяготение – это искривление пространства-времени. Это предположение было подтверждено в 1919 г. астрономическими наблюдениями, показавшими, что луч света звезды как

прообраз прямой линии искривляется вблизи Солнца вследствие его поля тяготения.

В создании современной теории пространства и времени сыграли большую роль идеи Лобачевского, Римана, Маха, Гаусса, Эйнштейна и других учёных. Открытие неевклидовой геометрии опровергло кантовское учение о пространстве и времени как о внеопытных формах чувственного восприятия. Исследования Бутлерова, Фёдорова и их последователей обнаружили зависимость пространственных свойств от физической природы материальных тел, обусловленность физико-химических свойств материи пространственным расположением атомов.

В настоящее время в философской литературе определились несколько значений, в которых употребляются понятия пространства и времени: наиболее распространенные значения - реальное, перцептуальное и концептуальное пространство и время.

Под реальным пространством и временем понимаются условия сосуществования и смены состояний материальных объектов и явлений, объективно реальные формы существования материи. Перцептуальные пространство и время суть условия сосуществования и смены наших ощущений и других психических актов субъекта. Концептуальные же пространство и время представляют собой абстрактные математические структуры, которые могут моделировать реальные пространственно-временные отношения.

Перцептуальные пространство и время отражают реальное пространство и время на уровне чувственного опыта индивидуума. На рациональном же уровне познания отражением реального пространства и времени выступают концептуальные пространство и время. При изучении роли и места понятий пространства и времени в структуре физической теории интерес представляют в первую очередь концептуальные пространство и время как элементы теоретического знания.

В широком смысле под концептуальным пространством понимается множество, в котором введены определенные системы отношений между элементами. Примером таких отношений между элементами служат метрические отношения, вводимые с помощью «аксиом расстояния».

Все концептуальные пространства можно условно разделить на три типа. Это концептуальные пространства:

1) чистой геометрии, не имеющие эмпирической интерпретации и не используемые в физике;

2) не имеющие явной эмпирической интерпретации, но используемые в физике в качестве удобного математического формализма. В дальнейшем эти пространства могут получить эмпирическую интерпретацию и перейти в разряд физических пространств;

3) физики, которые получили в рамках данной теории эмпирическую интерпретацию и входят в структуру физической теории.

В этой классификации концептуальные пространства по своему логическому объему идут по нисходящей, т.е. каждое предыдущее включает в себя последующее в качестве частного случая.

Примером пространств первого типа может служить нехаусдорфово топологическое пространство, ко второму типу можно отнести *n*-мерное евклидово пространство или бесконечное гильбертово пространство, и, наконец, примером пространств третьего типа являются трехмерное евклидово или четырехмерное риманово пространства.

Наукой, изучающей концептуальные понятия всех типов, является геометрия. Физическая геометрия изучает концептуальные пространства, получившие ту или иную эмпирическую интерпретацию в рамках данной физической теории и служащие моделью реальных пространственных отношений.

Концептуальные времена любого типа изучает сравнительно молодая наука – хронометрия. Хронометрией занимается один из разделов геометрии, обусловленный некоторыми ограничениями, накладываемыми на модели, описывающие временные соотношения. Эти ограничения связаны со спецификой времени: его необратимостью и однонаправленностью. Следовательно, хронометрией можно назвать науку о любых временных отношениях. В таком случае физическая хронометрия – эта наука о так или иначе эмпирически интерпретированных моделях времени.

При дальнейшем изучении концептуальных пространств и времен возникла необходимость в единой науке, исследующей пространственно-временные модели. Такая наука была создана и получила название хроногеометрии. С наиболее общей точки зрения ее можно определить как теорию таких пространств,

«геометрия» которых определяется отношением предшествования точек.

По аналогии с вышесказанным можно выделить:

1) чистую хроногеометрию;

2) абстрактную хроногеометрию, не интерпретированную эмпирически, но используемую в физических теориях или гипотезах;

3) физическую хроногеометрию, получившую в рамках данной теории эмпирическую интерпретацию. Примером абстрактной хроногеометрии может служить вариант хроногометрии, разрабатываемый Е. Кронхеймером и Р. Пенроузом. Они вводят так называемое каузальное пространство, под которым понимается множество, упорядоченное определенными отношениями предшествования, свойственными релятивистской хроногеометрии. Пример физической хроногеометрии – пространственно-временная модель классической механики, специальной и общей теории относительности.

Пространственно-временное описание можно понимать в двух смыслах: широком и узком. В узком смысле пространство и время служат необходимой предпосылкой проведения любого эксперимента. На эмпирическом уровне познания пространство и время являются в первом приближении непосредственно наблюдаемыми и могут быть определены операционально.

Пространственно-временное описание в широком смысле не сводится к языку наблюдений, а относится к теоретическому уровню. В основе этого описания лежит исходная хроногеометрическая модель, представляющая собой абстрактную геометрическую конструкцию, которая в рамках данной физической теории получила эмпирическую и семантическую интерпретацию. Эта геометрическая конструкция относится к физической хроногеометрии.

Итак, пространственно-временное описание в широком смысле предполагает:

1) исходную хроногеометрическую модель;

2) ее эмпирическую интерпретацию;

3) ее семантическую интерпретацию.

Физическое пространство, входящее в исходную хроногеометрическую модель, является инвариантом определенных геометрических преобразований.

Кроме того, концептуальные физические пространство и время, входящие в хроногеометрическую модель, имеют ряд

признаков, отличающих их от концептуальных пространств и времен, принадлежащих к классу чистой геометрии. Физические пространство и время:

1) принципиально сопоставимы с эмпирическими понятиями и непосредственно наблюдаемыми физическими величинами;

2) обладают чрезвычайно большой степенью общности и способностью описывать широкий класс явлений;

3) без дополнительных ступеней абстракции обеспечивают описание движения и взаимодействия физических объектов;

4) адекватно отражают реальные пространственно-временные отношения (конечно, при условии истинности той физической теории, в которую они входят).

Принцип зависимости пространства от находящейся в ней материи получил в физической литературе название «принцип Маха». В своей «Механике» Мах показывает недостаточную логическую оправданность ряда предпосылок ньютоновской механики, принимавшихся до этого времени в физике как нечто самоочевидное. В классической механике ряд физических явлений объясняется через отнесение их к абсолютному пространству. Мах же объясняет их по-другому. Вот как он, например, опровергает знаменитый ньютоновский эксперимент с вращающимся сосудом, с помощью которого якобы обнаруживается «абсолютное пространство». «Опыт Ньютона с вращающимся сосудом с водой показывает только то, что относительное вращение воды по отношению к стенкам не побуждает заметных центробежных сил, но эти последние побуждаются относительным вращением по отношению к массе Земли и остальным небесным телам. Никто не может сказать, как протекал бы опыт, если бы стенки сосуда становились все толще и массивнее, пока, наконец, их толщина не достигла бы нескольких миль». Хотя для Маха понятие тел (материи) «суть лишь абстракция, символы для комплексов элементов («комплексов ощущений»)», основную его мысль, можно выразить так: все, что происходит в мире, есть результат взаимодействия материальных тел.

Эйнштейн воспринял у Маха принцип относительности пространства, но интерпретировал его с естественно-научных, стихийно-материалистичских позиций. Сам термин «принцип Маха» впервые появился в 1918 г. в работе Эйнштейна «Принципиальное содержание общей теории относительности» и был определен так: «*G* – поле (гравитационное) полностью определено массами тел».

В этой же статье Эйнштейн писал: «Теория, как мне кажется сегодня, покоится на трех основных положениях, которые ни в коей степени не зависят друг от друга... а) Принцип относительности...; б) Принцип эквивалентности...; в) Принцип Маха».

Это дало повод некоторым авторам сделать вывод о том, что Эйнштейн успешно осуществил программу Эрнста Маха в релятивистской оценке инерциальных свойств материи. Вот, например, что пишет Ф. Франк: «Эйнштейн предпринял новый анализ ньютоновской механики, который в конце концов оправдал переформулировку Маха (ньютоновской механики)». В подобном же духе высказывается и М. Джеммер.

Ниже мы попытаемся доказать, что история общей теории относительности не подтверждает этой точки зрения, и преодоление попыток внести в концептуальный аппарат современной науки понятия «абсолютное пространство» в духе Ньютона представляет собой «процесс, который, по-видимому, не закончился еще и поныне».

В письме Эйнштейна Маху от 25 июня 1913 г. отмечаются три эффекта, существование которых следует ожидать, если принцип Маха с необходимостью входит в общую теорию относительности. Суть этих эффектов состоит в следующем:

1. Масса пробного тела должна возрастать при приближении к скоплению больших масс.

2. Ускорение большой массы влечет за собой одинаково направленное ускорение находящегося вблизи пробного тела.

3. Вращающееся полое тело должно создавать внутри себя «поле сил Кориолиса».

Первый эффект был рассмотрен Эйнштейном, но он ошибался, полагая, что в его теории имеет место этот феномен. У Эйнштейна он возникает лишь в определенной системе координат, т.е. является координатным. Второй эффект, как это было показано Эйнштейном, учитывается математическим аппаратом общей теории относительности. Третий эффект положительно рассматривался в рамках теории тяготения Г. Тиррингом.

Таким образом, в общей теории относительности представлены второй и третий эффекты, но не представлен первый. Это свидетельствует о том, что принцип Маха должным образом не выражается в теории тяготения Эйнштейна.

Следовательно, согласно А. Пуанкаре, между геометрической и физической компонентами физической теории существует определенная взаимосвязь, выражающаяся в том, что измене-

ние одной из компонент влечет за собой соответствующее изменение другой. Эта мысль и составляет основное содержание принципа дополнительности геометрии и физики или, иначе говоря, принципа дополнительности А. Пуанкаре.

Пуанкаре полагал, что опыт не в состоянии дать достаточные основания для принятия той или иной хроногеометрической модели. Он писал: «Всякий опыт ... допускает истолкование на почве евклидовой гипотезы, но он допускает его и на почве гипотезы неевклидовой». Иначе говоря, он пытался доказать, что выбор хроногеометрической модели всецело зависит от наших соглашений.

Проблему дополнительности геометрии и физики рассматривал в своих работах А. Эйнштейн. Хотя его решение вопроса состоит в обосновании предпочтительного характера геометрических представлений Общей теории относительности (ОТО), он признает принципиальную неопровержимость точки зрения А. Пуанкаре, отмечая следующее: «Мы можем сказать, что только сумма *(Г)+(Ф)* является предметом проверки на опыте. Таким образом, можно произвольно выбрать как *(Г),* так и отдельные части *(Ф):* все эти законы представляют собой соглашения. Во избежание противоречий необходимо оставшиеся части *(Ф)* выбрать так, чтобы *(Г)* и полная *(Ф)* вместе оправдывались на опыте». В более поздней статье «Относительность и проблема пространства» (1952 г.) А. Эйнштейн пишет: «Тонкость понятия пространства возросла с открытием того, что абсолютно твердых тел не существует. Все тела являются упруго деформируемыми и изменяют свой объем с изменением температуры. Поэтому структуры, взаимные расположения которых должны описываться евклидовой геометрией, не могут быть оторваны от физических понятий. Но так как физика при установлении своих понятий в конце концов должна использовать геометрию, то эмпирическое содержание геометрии может быть сформулировано и проверено в рамках всей физики».

Понятия пространства и времени входят в структуру физической теории через посредство хроногеометрической модели, которая, как уже отмечалось, представляет собой концептуальное геометрическое пространство, получившее в рамках данной теории эмпирическую и семантическую интерпретацию и являющееся инвариантом преобразований, имеющих в данной теории глубокий физический смысл. Напомним, что под физической

теорией в этой работе понимается определенного рода модель, включающая в себя, наряду с математическим формализмом, и некоторые наглядные физические представления.

Рассмотрим, каким образом производится эмпирическая интерпретация хроногеометрической модели. Эмпирическую интерпретацию эта модель получает путем ее сопоставления (по правилам соответствия) с наблюдаемыми в физическом эксперименте величинами. В связи с этим прежде всего возникает необходимость проанализировать значение для пространственно-временного описания принципа наблюдаемости, тем более, что некоторые авторы полагают, что понятия пространства и времени должны быть изгнаны из физики микромира как ненаблюдаемые.

Часто выделяют три основных значения термина «наблюдаемость»: 1) непосредственная наблюдаемость; 2) принципиальная наблюдаемость; 3) опытная проверяемость. Непосредственная наблюдаемость предполагает наличие в структуре физической теории лишь тех величин, которые имеют операциональные определения. Принципиальная наблюдаемость требует только принципиальной возможности прямого или косвенного измерения физических величин. И, наконец, опытная проверяемость связана с проверкой не самого физического положения, входящего в структуру физической теории, а тех следствий из теории, которые проверяются на практике. Общеизвестно, что в первом смысле термин «наблюдаемость» в современной физике не употребляется. Вопрос о том, «работают» ли в естествознании две другие («ослабленные») формулировки этого термина, вызывает споры. Так, некоторые авторы считают, что термин «наблюдаемость» применительно к пространству и времени, как и к другим теоретическим объектам, можно применять лишь в третьем, самом «слабом» его значении. По их мнению, абсолютное пространство и абсолютное время в классической механике Ньютона принципиально не наблюдаемы, но их применение в теории ведет к опытно проверяемым следствиям. Отметим, однако, что с современной точки зрения классическую механику модно изложить без привлечения понятия абсолютного пространства, о чем пойдет речь ниже.

По-видимому, в применении к понятиям пространства и времени необходимо использовать второе значение термина «наблюдаемость», в частности потому, что пространство и время связаны с самим фактом существования физических объек-

тов. Если отказаться от принципиальной наблюдаемости хроногеометрической модели, оставляя, тем не менее понятие «пространство и время» в структуре физической теории, то с необходимостью придется сделать вывод о принципиальной ненаблюдаемости описываемых физической теорией объектов.

Семантическая интерпретация понятий пространства и времени физической теории есть выявление их физического смысла (содержательных характеристик). Обычно она производится с помощью различных нестрогих, полуфизических-полуфилософских построений на уровне метатеории, которой является, как правило, физическая картина мира, т.е. идеальная модель природы, включающая в себя наиболее общие понятия, принципы и гипотезы физики и характеризующая определенный исторический этап ее развития.

Эмпирический статус понятий пространства и времени физической теории устанавливается путем сопоставления по правилам соответствия основных положений хроногеометрической модели с языком наблюдения, онтологический же статус, связанный с основными смысловыми характеристиками, хроногеометрическая модель получает сопоставлением с объектной областью другой, уже интерпретированной физической теории или с физической картиной мира.

В различных физических теориях проблема соотношения эмпирической и семантической интерпретации встает по-разному. Так, в классической механике И. Ньютона создалась видимость, что семантическая и эмпирическая интерпретации полностью совпадают. Такая видимость возникла из-за того, что классическая механика имела дело с непосредственно наблюдаемыми величинами, и хотя такие теоретические понятия ньютоновской механики, как векторы силы, скорости, ускорения и т.п., и не сводились полностью к операциональным определениям, их наглядность производила впечатление чего-то эмпирически данного. Впервые явное разделение эмпирической и семантической интерпретации произошло в квантовой механике.

В общем же случае эмпирическая и семантическая интерпретации хроногеометрической модели не совпадают. Эмпирическая интерпретация выражает феноменологический аспект пространственно-временной модели, когда как семантическая интерпретация дает сущностно-теоретический аспект пространственно-временного описания.

Из изложенного следует, что понятия пространства и времени вводятся в структуры физической теории по формальному и смысловым признакам. В первом случае статус пространства и времени приобретает та часть математического формализма, которая находится ближе всего к языку наблюдений, во втором – та его часть, которая может быть достаточно удалена от непосредственного опыта, но позволяет ввести единую иконическую модель физической реальности.

Вообще говоря, понятие пространства вводится в структуру физической теории и при помощи таких математических формализмов, как абстрактные физические пространства – конфигурационное, фазовое, гильбертово и т.д. Не исключено, что некоторые из этих пространств со временем приобретут пространственно-временной статус. Этот способ вхождения понятий пространства и времени в структуру физической теории можно обозначить как абстрактный.

Формальное вхождение понятий пространства и времени в структуру физической теории связано исключительно с эмпирической интерпретацией ее формализма, смысловое же – прежде всего с семантической интерпретацией, в частности, с использованием некоторых философских или «полуфилософских» положений, таких как положение о реальности «мира Минковского», принцип Маха и т.п. Отметим, что определение физической теории как своего рода модели позволяет рассматривать эти положения не только как метатеоретические суждения, но и как элементы физической теории, что было бы невозможно, если рассматривать физическую теорию как некоторый теоретический формализм, связанный только с языком наблюдений.

Биологическое пространство и время

Проблема пространства и времени в структуре биологических теорий далеко не разработана. Известны труды академика В.И. Вернадского, в которых он пытался определить специфику биологического времени и пространства. Но в этой работе и в ряде других рассматриваются аспекты, связанные в основном с «биологическими часами» и «вестибулярным аппаратом», причем сам факт существования подобных систем у живых существ

сомнения не вызывает. Остается открытым лишь вопрос о локализации и природе этих биологических процессов.

Для целей данного исследования важен вопрос о месте понятий пространства и времени в структуре биологических теорий. Как отмечалось, в структуру естественно-научных теорий входят особые концептуальные пространства, получающие в рамках теории семантическую и эмпирическую интерпретацию. Поэтому необходимо установить, какое концептуальное пространство соответствует биологическому пространству и времени. В указанной работе В.И. Вернадского отмечается, что биологическое пространство можно сопоставить с одним из римановых пространств, но достаточно полного доказательства этого положения не приведено. Большой интерес представляет в биологической науке понятие экологического пространства и экологического времени, но эти понятия, как правило, не связываются непосредственно с математическими структурами.

Вопрос об основных способах ввода понятий пространства и времени в структуру биологических теорий встает лишь на уровне современной теоретической биологии, представляющей собой достаточно математизированную теорию.

В теоретической биологии с точки зрения разделения в ней пространственно-временной и чисто биологической частей встают те же вопросы, что и в физике, в частности, вопросы о способах ввода понятий пространства и времени в структуру теории. Формальным образом в структуру теоретической биологии при помощи эмпирической интерпретации формализма теории входят евклидово пространство и время нашего макромира. Что же касается смыслового пути вхождения пространства и времени в структуру этой теории, то он связан с ее семантической интерпретацией на объектной области биологической картины мира. С этим способом связано введение в структуру биологии таких специфических видов пространства и времени, как эндогенные биологические часы, экологическое пространство и время и т.д.

Следовательно, можно констатировать, что биологическое пространство и время обладают определенной спецификой, заключающейся в том, что смысловой способ введения их понятий в структуру фундаментальных биологических теорий детализирует особенности биологической хроногеометрии.

Что же касается абстрактного способа вхождения пространства и времени в структуру теории, то в силу недостаточной раз-

работанности теоретической биологии он в современной биологической науке не используется.

Необходимо отметить, что за последнее время в философской литературе появились работы, в которых выявляется специфика биологической картины мира. Прежде всего отмечается, что биологическая картина мира, в отличие от физической, не имеет ярко выраженных «теоретических конструкторов». Причем и в будущем вряд ли биология «дорастет» до уровня конструктов, поскольку теоретический конструкт статичен, и с его помощью можно решать лишь отдельные биологические задачи. В целом же биология имеет дело с такими фундаментальными понятиями, которые непосредственно выражают историческое время. В этом смысле основное различие биологических и физических картин мира состоит в их отношении к принципу историзма. Если теоретическая физика зачастую обходится без обращения к понятию исторического времени, то фундаментальнейшие понятия биологической науки непосредственно связаны с ним. Отсюда вытекает, в частности, что вклад, который биологическая наука может внести в построение естественно-научной картины мира, связан с разработкой идеи глобального эволюционизма и принципа развития.

Химическое пространство и время

Несмотря на то, что методы исследования в химических и физических науках во многом совпадают, все же можно найти определенную специфику химического знания. Согласно точке зрения многих авторов, химическая картина мира занимает промежуточное положение между физической и биологической картинами мира. Эта двойственность химии связана с тем обстоятельством, что в ней реализуется синтез физического знания, доказавшего свою эвристическую роль в познании химизма, и биологического, внесшего эволюционные идеи в такие разделы современной химии, как биогеология, палеохимия, эволюционная биохимия и космохимия. Специфика химической формы движения и отражающая ее химическая картина мира могут быть поняты лишь при обращении к принципу историзма и обосновании особого этапа эволюции материи, предшествующего возникновению жизни.

Что касается основных способов введения понятий пространства и времени в структуру химических теорий, то, учитывая успехи применения в современной химии квантовомеханических методов описания, можно сделать вывод о том, что основные способы введения понятий пространства и времени в структуру химических теорий аналогичны способам введения этих понятий в структуру квантовой механики, и проблемы, стоящие перед современной химией, связанные с пространственно-временным описанием, аналогичны проблемам, возникающим в квантовой механике. Имеются, конечно, определенные границы в применении методов квантовой механики для описания химических процессов, но поиски данных границ связаны с будущим развитием химических наук и с тем многократно доказанным фактом, что любая физическая теория имеет свои пределы применимости и безгранично экстраполировать ее выводы на другие области знания нельзя.

Любые физические, химические и биологические процессы сопровождаются изменением энергетического состояния систем. Именно энергетические факторы и связанные с ними энтропийные факторы объясняют практически все превращения веществ и процессы в живой и неживой природе.

Энергия и энтропия

Первые попытки научного определения этих понятий были сделаны более сорока лет назад. Тысячелетия до этого люди пользовались тем, что теперь называют «энергия», совершенно не задумываясь над сущностью происходящего и не зная не только этого термина, но и его содержания как источника деятельных сил и меры движения всех форм материи. Энтропия – это мера рассеяния энергии и увеличения всех форм беспорядка в системе. Она вообще находилась за пределами возможностей созерцательного и эмпирического познания, да и ее роль в окружающем человека мире была еще невелика.

Многие тысячелетия такие понятия, как энергия, работа, импульс, количество движения, собственно сила и другие обозначались чаще всего одним термином «сила».

Понятие «энергия» стало постепенно выделяться из многозначного понятия «сила», когда стали использоваться паровые машины, где тепло от сжигания угля превращалось в механиче-

скую работу поршня, который перемещался под давлением пара. Одним из первых термин «энергия» применительно к живой силе стал применять в 1807 г. английский ученый Т. Юнг. Позже энергию движущейся системы стали называть кинетической, а энергию системы, приведенной в состояние «напряжения», которое позволяет получить движение, хотя такого еще пока нет – потенциальной.

Постепенно люди научились различать виды материи (макротела, микрочастицы, электрические и магнитные поля и др.), формы ее движения (механическая, электрическая, химическая и др.) и виды взаимодействий (ядерные, электромагнитные, слабые, гравитационные и др.), а вследствие этого стали использовать термины «механическая энергия», «электрическая энергия», «химическая энергия» и др. Так стихийно возникло понятие «виды энергии».

Все многообразие физических взаимодействий на Земле и во Вселенной сводится к следующим основным типам:

1. Гравитационное взаимодействие, которое объясняет и хорошо описывает закон всемирного тяготения. Это самое слабое из всех взаимодействий. В макромире оно проявляется в соответствии с массой тела: чем больше масса тела, тем выше гравитация. В микромире оно значительно уступает другим видам взаимодействия. Так. Электростатическое отталкивание электронов 10^{40} раз больше их гравитационного притяжения. Но при экстремально высоких плотностях вещества, равных 10^{94} г/см^3 , гравитационное взаимодействие становится близким по своей величине с другими взаимодействиями, действующими в микромире.

В классической физике гравитационное взаимодействие описывается законом тяготения Ньютона. Гравитационные взаимодействия обусловливают образование всех космических систем, а также концентрацию рассеянной в ходе эволюции звезд и звездных систем материи и включение ее в новые циклы развития. Скорость распространения гравитационных волн считается равной скорости света, но достоверность гравитационных волн еще зарегистрирована измерительными приборами.Но американским физикам Р. Халси и Дж. Тейлору удалось косвенно подтвердить существование гравитационных волн (Нобелевская премия 1993 г.).

С точки зрения квантовой теории гравитации, поле тяготения квантуется. Квантами гравитационного поля являются грави-

тоны. Силы тяготения являются результатом постоянного обмена между телами гравитонами или гравитационными волнами. Они переносят энергию, обладают пространственно-временными характеристиками, импульсом, присущими материальными объектам. Но в общей теории относительности (ОТО) существует понятие гравитации как проявление кривизны пространственно-временного континуума, т.е. гравитация относится к метрическим особенностям пространства-времени. Поле тяготения создает искривление пространства, тем больше, чем больше тяготеющая масса.

2. Электромагнитное взаимодействие – это дальнодействующее взаимодействие заряженных частиц или тел. Сила электрического притяжения или отталкивания точечных неподвижных зарядов вычисляется на основе закона Кулона. В более общих случаях используют уравнения электродинамики Максвелла. Это взаимодействие обладает универсальным характером и существует между любыми телами. Оно может проявляться и как притяжение (между разноименными зарядами) и как отталкивание (между одноименными зарядами).

Благодаря электромагнитному взаимодействию возникают атомы, молекулы и макроскопические тела, оно всегда предшествует другим видам взаимодействия. Так, химические реакции начинаются с электромагнитных взаимодействий, в результате которых происходит перераспределение электронных плотностей взаимодействующих атомов, перестройка электронных оболочек атомов и молекул.

С начала развития физики электричества электрические и магнитные составляющие этого взаимодействия рассматривались как не связанные друг с другом. Но Максвелл доказал, что эти силы - проявление одного и того же взаимодействия. Электродинамика Максвелла является классической теорией электромагнетизма, сохраняющейся и в наше время.

Современная физика разработала более совершенную теорию электромагнитного взаимодействия. Эта теория называется квантовой электродинамикой. Теория начинается с постулирования существования электромагнитного заряда, так как природа этого заряда неизвестна. Заряд создает поле, квантом которого является бозон с массой покоя, равной нулю – фотон со спином, равным единице. Электрический заряд имеет два знака: отрицательный (присущий электрону) и положительный (присущий протону и позитрону). Взаимодействие зарядов обеспечивается об-

меном виртуальных фотонов. В случае разноименных зарядов обмен создает эффект притяжения, а в случае одноименных зарядов – отталкивание. Во всех процессах с участием электромагнитных зарядов выполняется закон сохранения зарядов, энергии, импульсов и т. д.

3. Слабое взаимодействие обусловливает некоторые процессы в мире элементарных частиц, т.е. существует только в микромире. Примером такого процесса является известный β-распад, в результате которого нейтрон превращается в протон, электрон и электронное антинейтрино. Распад вызывается превращением внутри нейтрона кварка аромата **d** в кварк аромата **u**. Вылетающий электрон обеспечивает сохранение суммарного электрического заряда, а антинейтрино позволяет сохранить суммарный механический импульс системы. В этом взаимодействии постулируется существование фундаментального слабого заряда, присущего некоторым частицам из класса лептонов и кварков. Слабый заряд образует три разновидности поля с тремя обменными бозонными частицами, имеющими значительную массу. Слабое взаимодействие переносится векторными бозонами и имеет радиус действия порядка 10^{-15} см. В шестидесятых годах двадцатого века С. Вайнберг и А. Салам предположили, что слабое и электромагнитное взаимодействия - разные стороны проявления одного взаимодействия, наподобие электромагнитного. Эта теория исходит из существования единого фундаментального заряда, отвечающего одновременно и за слабое, и за электромагнитное взаимодействия. При очень высоких температурах (энергиях) структура вакуума нарушается и не может помешать проявлению такого заряда. Тогда слабое и электромагнитное взаимодействия сливаются воедино, а заряд порождает общее поле, квантом которого служит безмассовая бозонная частица с бесконечным радиусом действия. При понижении температуры наступает критический момент, после которого вакуум переходит в более упорядоченную модификацию, что меняет характер его взаимодействия с электрослабым зарядом. В результате заряд распадается на две части, одна из которых предстает как электромагнитный заряд, а другая – как слабый заряд. Бозонная частица с нулевой массой покоя распадается на четыре составляющих. Выделяется бозон электромагнитного взаимодействия - он остается фотоном. А трем полям слабого заряда соответствуют три тяжелых бозона со своими массами,

полученными в результате взаимодействия со структурой модифицированного вакуума.

Эта теория допустила экспериментальную проверку. Так, она предсказала значения масс векторных бозонов, которые были подтверждены в ходе экспериментов на ускорителе (Нобелевская премия 1984 г.).

Это короткодействующее и, казалось бы, малоощутимое взаимодействие имеет самое прямое отношение к термоядерным реакциям, в ходе которых в недрах звёзд водород превращается в гелий, и к другим процессам, сопровождающим эволюцию звёзд разных типов.

4. Сильное взаимодействие – короткодействующее взаимодействие (радиус действия около 10^{-13} см) примерно на три порядка меньше радиуса слабого взаимодействия. Это взаимодействие обеспечивает прочную связь между нуклонами в ядрах атомов и, вероятно, связывающее кварки внутри элементарных частиц. Как и слабое взаимодействие, оно играет важную роль во многих процессах, происходящих в природе и используемых в технике.

Основная функция сильного взаимодействия – соединять кварки и антикварки в адроны. Теория сильного взаимодействия является типичной полевой теорией и названа квантовой хромодинамикой. Основным положением ее служит постулат о существовании трех типов цветовых зарядов: красного, синего и зеленого, выражающих способность к объединению кварков в сильном взаимодействии. Каждый из кварков содержит некоторую комбинацию таких зарядов, но при этом не происходит их полной взаимокомпенсации и кварк обладает результирующим цветом, т.е. сохраняет способность к сильному взаимодействию с другими кварками. Но когда три кварка или кварк и антикварк объединяются в адрон, суммарная комбинация цветовых зарядов в нем такова, что адрон в целом обладает цветовой нейтральностью.

Цветовые заряды создают поля с присущими им квантами – бозонами. Обмен виртуальными цветовыми бозонами между кварками и антикварками служит материальной основой сильного взаимодействия. Заряды создают 8 полей с соответствующими восемью бозонными частицами, которые называют глюонами. Им приписывают экзотические свойства: они не имеют массы покоя, чем схожи с фотоном и гравитоном. Но шесть из восьми глюонов имеют цветовые заряды, как и те фермионы, для кото-

рых они служат переносчиками взаимодействия. Ни один другой бозон, фигурирующий в полевых теориях, не является носителем заряда, поэтому ранее считалось, что иметь заряд – привилегия фермионов. Глюоны с нулевой массой покоя имеют ограниченный радиус действия 10^{-13} см, а их цветовой заряд провоцирует сильнейшее возмущение вакуума, так как вызывает активное выделение в вакууме облака виртуальных глюонов и кварк-антикварковых пар, компенсирующих это возмущение. Образовавшееся при этом пространственное распределение цветового заряда уменьшает силу взаимодействия между кварками при их сближении. На очень близких расстояниях вакуумная компенсация цветовых зарядов приводит к тому, что кварки перестают влиять друг на друга и ведут себя как свободные частицы. С увеличением расстояния между кварками сила взаимодействия возрастает. Для разделения двух частиц с цветовыми зарядами понадобилась бы бесконечно большая энергия. Но как только вводимая энергия превысит некоторый определенный уровень, вакуум выделяет уже не виртуальные, а реальные частицы (кварки-антикварки), которые соединяются с первичными частицами и образуют поток адронов, что и наблюдается в экспериментах на ускорителях. Сильное взаимодействие при любых условиях сохраняет бесцветность частиц.

Долгое время до открытия кварков фундаментальным взаимодействием считали ядерное взаимодействие, объединяющее протоны и нейтроны в ядрах атомов. С открытием кваркового уровня вещества, под сильным взаимодействием стали понимать цветовые взаимодействия между кварками, объединяющимися в адроны. Ядерные силы должны как то выражаться через цветовые силы. Но это не просто сделать, так как барионы (протоны и нейтроны), составляющие ядра, являются цветонейтральными. Теория предполагает, что при сближении барионов на расстояния меньшие, чем 10^{-13} см, они теряют свои индивидуальные особенности. Глюонный обмен между кварками, удерживающий их в адронах, принимает коллективный характер, связывая кварки всех барионов в единую систему – атомное ядро. Перемещение одного из кварков в сторону другого нарушает локальную нейтральность цветового заряда. Вакуум реагирует на это рождением виртуальной пары кварк-антикварк. Кварк этой пары замещает «нарушителя» на его месте, а антикварк вместе с беглецом образует виртуальный пион (пи-мезон), принимаемый за обменную частицу ядерного взаимодействия.

Рассмотренные четыре типа фундаментальных взаимодействий лежат в основе всех других известных форм движения материи, в том числе возникших на высших ступенях развития.

В 1986 г. появилось сообщение об открытии «пятой силы», или «пятого взаимодействия». Согласно этой гипотезе, «пятое взаимодействие» – это сила отталкивания, пропорциональная барионному заряду тела. Барионами называют группу тяжелых элементарных частиц (протон, нейтрон, гипероны и др.). Барионы принимают участие во всех видах фундаментальных взаимодействий. Барионный заряд для барионов принимают равным единице, для антибарионов заряд равен –1. Для остальных частиц барионный заряд равен нулю. Барионный заряд системы частиц равен разности между числами барионов и антибарионов в системе. В частности барионный заряд ядер равен их массовому числу. Масса может быть различна при одинаковой сумме протонов и нейтронов (вследствие дефекта масс). Возможно, это взаимодействие является неизвестной составляющей силы тяготения, разной для тел одинаковой массы. Но это взаимодействие очень слабое и практически ничего не изменит ни в нашей повседневной механике, ни в небесной механике. Правда, для физики элементарных частиц «пятое взаимодействие» может оказаться очень важным.

Физики всегда мечтали создать теорию, объединяющую все физические взаимодействия. Началом создания такой теории было объединение электромагнитного и слабого взаимодействия. Есть попытки создать теорию **Большого объединения,** объединяющую электромагнитое, слабое и сильное взаимодействия. Еще более грандиозна идея создания **Суперобъединения**, охватывающую все четыре взаимодействия**.**

Физики считают, что эту теорию они могут создать на основе теории **суперструн**, которая появилась совсем недавно. Ее создателями явились М. Грин (Великобритания) и Дж. Шварц (США). Эта теория описывает некие протяженные объекты - струны. Струны - это пространственные отрезки с характерным размером планковской длины 10^{-33} см. Предполагается что на таких малых расстояниях должны проявляться 6 дополнительных пространственных измерений, которые в отличие от обычных четырех измерений компактифицированы, т.е. свернуты в точки, замкнуты, ограничены в определенных областях и не распространяются в область макромира.

Эта теория является следствием объединения квантовой теории поля с общей теорией относительности. Понятие струны в ней становится синонимом понятия микрочастицы или вообще локализованного в пространстве объекта. Все известные частицы представляют собой определенное возбужденное состояние струны. Такие состояния можно сравнить с набором звуков, вызываемым колебанием струны (например, гитары или скрипки). Более высокие звуки можно сопоставить с новыми частицами, масса которых больше массы предыдущих частиц. Введение понятия струны полностью исключает точечные представления из структуры микромира. Эта теория в сущности сводит физику к геометрии очень сложных пространств.

Теория суперструн тесно связана с новыми представлениями о симметрии – с концепцией суперсимметрии, открытой в 60-70-х годах, которая связала между собой бозоны и фермионы. Преобразования суперсимметрии переводит их друг в друга, и также связывают физику с геометрией. Согласно теории суперструн, фундаментальным объектом современной физики является квантованное суперструнное поле, возбуждениями которого являются сулерструны, взаимодействующие друг с другом и вакуумом (возникающие и поглощающиеся в нем). Струны, в свою очередь, порождают элементарные частицы.

Теория суперструн ведет к некоторым нетривиальным следствиям. Так, среди порожденных струнами элементарных частиц, должны быть гипотетические частицы **тахионы** – движущиеся со скоростями выше скорости света. Следствием этой теории является объяснение «теневого мира», открытого астрономами факта, что галактики и скопления галактик содержат большую массу невидимого вещества, в десятки раз превосходящего массу самих галактик.

Закон сохранения энергии

В 1845–1847 гг. получил тщательное обоснование всеобщий закон природы – закон сохранения количества энергии: в изолированной системе количество энергии остается постоянным. Этот закон часто называют первым законом термодинамики. Однако первое строгое определение энергии появилось только в 1857 г. Его дал В. Томсон (лорд Кельвин): энергия материальной системы в определенном состоянии есть измеренная в единицах

механической работы сумма всех действий, которые производятся вне системы, когда она любым способом переходит из этого состояния в произвольно выбранное нулевое состояние. Заметив, что все виды энергии превращаются в тепло, которое переходит ко всем более холодным телам и в конечном итоге рассеивается в окружающем пространстве, излучаясь затем в мировое пространство, естествоиспытатели ввели понятие «энтропия» как меру рассеяния энергии. Чем больше рассеивается энергия, тем больше растет энтропия.

Энергия и энтропия – слова греческого происхождения. «Эн» обозначает «в», или «содержащаяся», «эрг» – корень слова «работа», а «тропе» – «превращение». Выбор этих терминов обозначал желание отразить в них сущность соответствующих им понятий: изменение энергии изолированной системы $\Delta E = E_1 - E_2$ выражает максимальное количество работы W_{max}, которую система теоретически могла совершить (например, пар в цилиндре), переходя из состояния 1 в состояние 2. Изменение энтропии $\Delta S = S_1 - S_2$ означает ту часть $Q = T\Delta S$ запаса энергии E, которая в реальных условиях перехода при температуре окружающей среды превращается в тепло, рассеивается, уменьшая величину действительной работы до $Wp = W_{max} - To\,\Delta S$. Р. Клаузиус, предлагая в 1865 г. слово «энтропия», писал, что употребил его для большего сходства со словом «энергия», так как обе соответствующие этим названиям величины близки по физическому смыслу.

Изменение энергии системы определяется только разностью ее значения в начальном и конечном состояниях перехода. Поэтому энергию называют функцией состояния системы.

Энтропия тоже является функцией состояния системы, но количество тепла $Q = T\Delta S$, выражающее потерю энергии, связано с характером протекающего процесса, так как от него зависит количество тепла, рассеивающегося в систему вследствие прямой теплоотдачи системы в окружающую среду и в результате трения. Поэтому-то и реальная работа тоже зависит от характера процесса и никогда не бывает равна теоретической, т.е. изменению энергии.

Опыт свидетельствует, что все процессы в реальных условиях сопровождаются трением и теплообменом с окружающей средой. Это приводит к увеличению энтропии в изолированных системах. В открытых системах энтропия может изменяться под

действием внешних сил. Это дало Р. Клаузиусу, В. Томсону и другим исследователям сформулировать новый закон – закон возрастания энтропии (второй закон термодинамики): какие бы изменения ни происходили в реальных изолированных системах, они всегда ведут к увеличению энтропии.

Однако этот закон, основанный на околоземных наблюдениях, Р. Клаузиус распространил на всю Вселенную. Он утверждал, что через какой-либо промежуток времени вся энергия, имеющаяся на Земле и в других частях Вселенной, приведет к выравниванию температуры и к полному прекращению превращений энергии – к «тепловой смерти Вселенной».

Ограниченность действия закона возрастания энтропии была доказана австрийским физиком Л. Больцманом в 1871–1872 гг. Исходя из того, что теплота есть энергия беспорядочного хаотичного движения частиц вещества, он на основе молекулярно-кинетической теории показал, что закон возрастания энтропии не применим к Вселенной, потому что он справедлив лишь для статистических систем, состоящих из большого числа хаотически движущихся (или хаотически расположенных) объектов, поведение которых, определяемое изменением параметров состояния (для газов – это давление, температура, объем), подчиняется законам теории вероятностей. Возрастание энтропии таких систем указывает лишь на наиболее вероятное направление протекания процессов. И не исключается возможность маловероятных событий, называемых флуктуациями, когда энтропия уменьшается. Этот вывод Больцман сделал на основе прямой связи, которую он установил между энтропией и термодинамической вероятностью состояния рассматриваемой системы, т.е. числом микросостояний – распределений частиц в пространстве по скоростям и энергиям, с помощью которых может быть осуществлено данное макросостояние, определяемое соответствующими параметрами состояния. М. Планк привел открытую Больцманом зависимость между энтропией S и термодинамической вероятностью W к виду $S = k\ln W$, где $k = 1{,}380 \cdot 10^{-33}$ Дж/К – постоянная Больцмана.

Поскольку беспорядок всегда вероятнее, чем относительный порядок, то можно записать приведенное выше выражение несколько иначе: $S = k\ln D$, где D – количественная мера беспорядка в системе. Разбилась тарелка, сгорели дрова в печи и т.д. – энтропия увеличивается и становится максимальной, когда

для данной системы наступает максимальный беспорядок. Следовательно, с понижением температуры упорядоченность системы растет, соответственно уменьшается энтропия. Это позволило немецкому физико-химику В. Нернсту предположить, что с приближением абсолютной температуры к нулю энтропия тоже стремится к нулю. Это выражение известно как «тепловая теорема Нернста», или третий закон термодинамики. Основываясь на этом законе, за нулевую точку отсчета энтропии любой системы можно принимать ее максимальную упорядоченность.

Возрастание энтропии соответствует увеличению беспорядка в системе. Тогда второй закон термодинамики формулируется так: «Энтропия замкнутой системы, т.е. системы, которая не обменивается с окружением теплом и энергией, постоянно возрастает». Это означает, что такие системы эволюционируют в сторону увеличения в них беспорядка, хаоса и дезорганизации, пока не достигнут точки термодинамического равновесия, в котором всякое производство работы становится невозможным. Энтропия в классической термодинамике выступает в качестве направления (стрелы) времени. В термодинамических процессах нельзя вернуться к первоначальному состоянию. Термодинамика ввела в физику понятие времени в очень своеобразной форме – форме необратимого процесса возрастания энтропии в системе. Чем выше энтропия системы, тем больший временной интервал существования имеет данная система, тем дальше продвинулась она в своей эволюции. Такое понятие о времени и об эволюции системы коренным образом отличается от понятия эволюции Дарвина. В теории Дарвина эволюция направлена на выживание более совершенных организмов и усложнение их организации. В термодинамике же эволюция направлена на дезорганизацию систем. Это противоречие разрешилось только в 60-х гг. XX в. с появлением новой, неравновесной термодинамики. Неравновесная термодинамика опирается на концепцию необратимых процессов.

Классическая термодинамика оказалась неспособной решить космологические проблемы для процессов, происходящих во Вселенной. Первую попытку распространить законы термодинамики на Вселенную сделал Р. Клаузиус (1822–1888 гг.), выдвинувший два постулата:

– энергия Вселенной всегда постоянна;

– энтропия Вселенной всегда возрастает.

Если принять второй постулат, то необходимо признать, что все процессы во Вселенной направлены на достижение термодинамического равновесия, при котором энтропия максимальна. Это состояние характеризуется максимальной степенью дезорганизации и беспорядка. В этом случае никакая полезная работа во Вселенной невозможна, наступит «тепловая смерть». Эти положения, конечно, встретили критику со стороны многих ученых и философов. Некоторые из них полагали, что во Вселенной кроме процессов, идущих с возрастанием энтропии, происходят процессы с уменьшением энтропии, которые препятствуют наступлению «тепловой смерти». Другие высказывали сомнения в правомерности распространения законов термодинамики с отдельных систем на Вселенную. Третьи догадывались, что понятие изолированной системы не отражает реального характера систем, встречающихся в природе, что изолированные системы составляют только небольшую часть систем, существующих в природе.

Открытые системы и новая термодинамика

Открытые системы обмениваются с окружающей средой энергией, веществом, импульсом и информацией. Все реальные системы являются открытыми. К наиболее важному типу открытых систем относятся химические системы, в которых непрерывно протекают химические реакции (реагенты поступают извне, а продукты взаимодействия отводятся). Биологические системы, живые организмы, можно также рассматривать как открытые химические системы. Такой подход к живым организмам позволяет исследовать процессы их развития и жизнедеятельности на основе законов термодинамики неравновесных процессов, физической и химической кинетики. В неорганической природе открытые системы обмениваются с внешней средой, которая также состоит из различных систем, обладающих энергией и веществом. В социальных и гуманитарных системах к этому добавляется еще обмен информацией. Информационный обмен наблюдается также в биологических системах, например, при передаче генетической информации. Свойства открытых систем наиболее просто описываются вблизи состояния термодинамического равновесия. В этом случае неравновесное состояние можно

охарактеризовать теми же параметрами, что и равновесное: температурой, химическими потенциалами компонентов системы и др., но не с постоянными для всей системы значениями, а с зависящими от координат и времени. В открытых системах также изменяется энтропия, поскольку в них происходят необратимые процессы, но энтропия не накапливается, как в закрытых системах, а выводится в окружающую среду.

Энтропия открытых систем в неравновесном состоянии (локально-неравновесном состоянии) определяется как сумма значений энтропий отдельных малых элементов системы, находящихся в локальном равновесии (вследствие аддитивности энтропии). Отклонение термодинамичесаких параметров от их равновесных значений вызывают в системе потоки энергии и вещества. Процессы переноса приводят к росту энтропии системы (производству энтропии) В замкнутых системах энтропия возрастает и стремится к своему равновесному максимальному значению (производство энтропии стремится к нулю). В открытой системе возможны стационарные состояния с постоянной энтропией при постоянном производстве энтропии, которая должна при этом отводиться от системы. Стационарное состояние играет в термодинамике открытых систем такую же роль, что играет термодинамическое равновесие для изолированных систем в термодинамике равновесных процессов. Энтропия открытых систем в этом состоянии хотя и остается постоянной (производство энтропии компенсируется ее отводом), но это стационарное состояние не соответствует ее максимуму.

Наиболее интересные свойства открытых систем выявляются при нелинейных процессах, когда в них возможно появление термодинамически устойчивых неравновесных состояний, далеких от состояния термодинамического равновесия и характеризующихся определенной пространственной или временной упорядоченностью (диссипативной структурой). Существование такой структуры требует непрерывного обмена веществом и энергией с окружающей средой.

Таким образом, в новой термодинамике место закрытой, изолированной системы заняло понятие открытой системы, способной обмениваться с окружением энергией, веществом и информацией.

Одним из первых определений открытой системы дал Э. Шредингер, выдающийся австрийский физик (1887–1961 гг.). В своей книге «Что такое жизнь? С точки зрения физика» он пока-

зал, что законы физики лежат в основе образования биологических структур. Шредингер подчеркивал, что характерная особенность биологических систем состоит в обмене энергией и веществом с окружающей средой. Средство, при помощи которого организм поддерживает себя на достаточно высоком уровне упорядоченности (на достаточно низком уровне энтропии), состоит в непрерывном извлечении упорядоченности из окружающей его среды. Взаимодействующая со средой система не может оставаться замкнутой, так как она вынуждена получать извне новые вещества или энергию и одновременно выводить в окружающее пространство использованное вещество и отработанную энергию. Так как между массой (веществом) и энергией существует взаимосвязь, выражаемая уравнением Эйнштейна $E = mc^2$, то можно сказать, что в ходе своей эволюции система постоянно обменивается энергией с окружающей средой, а, следовательно, увеличивает энтропию. Но в отличие от закрытых систем эта энтропия не накапливается в ней, а удаляется в окружающую среду. Такого рода материальные структуры, способные рассеивать энергию, как уже указывали выше, называются диссипативными.

С поступлением новой энергии или вещества неравновесность в системе возрастает. В конечном итоге, прежняя связь между элементами системы, которая определяет ее структуру, разрушается. Между элементами возникают новые связи, которые приводят к кооперативным процессам, т.е. к коллективному поведению ее элементов. Так схематически можно описать процессы самоорганизации в открытых системах. Наглядной иллюстрацией процессов самоорганизации может служить работа лазера. Достаточно хаотические колебательные движения частиц кристалла благодаря поступлению энергии извне приводятся в согласованное движение. Это приводит к увеличению мощности лазерного излучения. Изучая процессы самоорганизации, происходящие в лазере, немецкий физик Г. Хакен назвал новое направление исследований синергетикой, что в переводе с древнегреческого означает «совместное действие», или взаимодействие.

Другим примером может служить самоорганизация, возникающая в химических реакциях. В химических реакциях она связана с поступлением извне новых реагентов, веществ, обеспечивающих продолжение реакции, с одной стороны, и выведением в окружающую среду продуктов реакции, с другой стороны. Нели-

нейные процессы в открытых системах исследуют на основе уравнений химической кинетики: баланса скоростей химических реакций в системе со скоростью подачи реагентов и отвода продуктов реакции. Накопление в открытых системах активных продуктов реакции или теплоты может привести к автоколебательному (самоподдерживающемуся) режиму реакций. Для этого необходимо, чтобы в системе реализовывалась обратная связь: ускорение реакции под воздействием либо продукта (автокатализ), либо теплоты, выделяющейся при реакции. В химической открытой системе с положительной обратной связью возникают незатухающие саморегулирующиеся химические реакции. Внешне самоорганизация проявляется с появлением в жидкой среде концентрических волн или в периодическом изменении цвета. Особенно хорошо это видно в автоколебательных или периодических реакциях, открытых Б. Белоусовым и исследованных А. Жаботинским. На экспериментальной основе периодических реакций И.Р. Пригожин построил теоретическую модель, названную брюсселятором. Эта модель легла в основу новой термодинамики – неравновесной, или нелинейной термодинамики. Под нелинейностью в термодинамике и в теории самоорганизации понимается то, что в них используются нелинейные математические уравнения, содержащие переменные во второй или выше степени. Линейные уравнения в условиях открытых систем или в условиях интенсивных воздействий на системы оказываются неадекватными.

Открытие самоорганизации в простейших системах неорганической природы, прежде всего в физике и химии, имеет огромное значение, как научное, так и мировоззренческое. Оно показывает, что такие процессы могут происходить в основе материи, и тем самым проливает свет на взаимосвязь неорганической и органической природы. Отсюда и возникновение жизни на Земле не кажется теперь редким и случайным явлением. С позиций самоорганизации становится ясным, что весь окружающий нас мир и Вселенная представляют совокупность разнообразных самоорганизующихся процессов, служащих основанием любой эволюции.

Современная наука и синергетика объясняют процесс самоорганизации систем следующим образом.

1. Система должна быть открытой. Закрытая система в соответствии с законами термодинамики должна в конечном итоге прийти к состоянию с максимальной энтропией.

2. Открытая система должна быть достаточно далека от точки термодинамического равновесия. В точке равновесия система обладает максимальной энтропией и поэтому не способна к какой-либо организации: в этом состоянии достигается максимум ее самодезорганизации. В состоянии, близком к равновесию, система со временем приблизится к нему и придет в состояние полной дезорганизации.

3. Фундаментальным принципом самоорганизации служит возникновение и усиление порядка через флуктуации. Такие флуктуации, или случайные отклонения, системы от некоторого среднего положения, в самом начале подавляются и ликвидируются системой. Но в открытых системах благодаря усилению неравновесности эти отклонения со временем возрастают и в конце концов приводят к «расшатыванию» прежнего порядка и возникновению нового. Этот процесс обычно характеризуют как принцип образования порядка через флуктуации. Так как флуктуации носят случайный характер, то становится ясно, что появление нового в мире всегда связано с действием случайных факторов. Об этом говорили античные философы Эпикур (341–270 до н.э.) и Лукреций Кар (99–45 до н.э.)

4. Возникновение самоорганизации опирается на положительную обратную связь. Функционирование различных автоматических устройств основывается на принципе отрицательной обратной связи, т.е. на получение обратных сигналов от исполнительных органов относительно положения системы и последующей корректировки этого положения управляющими устройствами. В самоорганизующейся системе изменения, появляющиеся в системе, не устраняются, а накапливаются и усиливаются, что и приводит в конце концов к возникновению нового порядка и структуры.

5. Процессы самоорганизации, как и переходы от одних структур к другим, сопровождаются нарушением симметрии. Так, мы уже видели, что при описании необратимых процессов пришлось отказаться от симметрии времени, характерной для обратимых процессов в механике. Процессы самоорганизации, связанные с необратимыми изменениями, приводят к разрушению старых и возникновению новых структур.

6. Самоорганизация может начаться лишь в системах, обладающих достаточным количеством взаимодействующих между собой элементов, имеющих некоторые критические размеры. В противном случае эффекты от синергетического взаимодействия

будут недостаточны для появления коллективного поведения элементов системы и тем самым возникновения самоорганизации.

Мы перечислили необходимые, но далеко не достаточные условия для возникновения самоорганизации в различных системах природы. Даже в химических самоорганизующихся системах, кроме вышеперечисленных, участвуют и другие факторы, например, процессы катализа. В биологических системах таких факторов еще больше. Поэтому можно сделать вывод, что чем выше по эволюционной лестнице система, тем более сложными и многочисленными оказываются факторы, играющие роль в самоорганизации.

Три закона термодинамики вместе с молекулярно-кинетической теорией составили основу термодинамики, сформировавшейся ныне в универсальную строго логическую научную дисциплину.

Классификация видов энергии

В настоящее время можно составить научно обоснованную классификацию видов энергии и с ее помощью исследовать и оценить их всевозможные взаимопревращения. Взяв за основу критерий, включающий виды материи, формы ее движения и виды взаимодействия, выделяют следующие виды энергии.

1. Аннигиляционная энергия – полная энергия системы «вещество-антивещество», освобождающаяся при аннигиляции.

2. Ядерная энергия – энергия связи нейтронов и протонов в ядре, освобождающаяся при делении и синтезе ядер атомов.

3. Химическая энергия – энергия системы из двух или более реагирующих веществ. Эта энергия освобождается в результате перестройки электронных оболочек атомов и молекул при химических реакциях.

4. Гравитационная (гравистическая) энергия – потенциальная энергия ультраслабого взаимодействия всех тел, пропорциональная их массам.

5. Электростатическая энергия – потенциальная энергия взаимодействия электрических зарядов, т.е. запас энергии электрически заряженного тела, накапливаемый в процессе преодоления им сил электрического поля.

6. Магнитостатическая энергия – потенциальная энергия взаимодействия «магнитных зарядов», или запас энергии, накапливаемой телом при преодолении сил магнитного поля в процессе перемещения против действия этих сил.

7. Нейтриностатическая энергия – потенциальная энергия слабого взаимодействия «нейтринных зарядов», или запас энергии, накапливаемый в процессе преодоления сил *b*-поля – «нейтринного поля». Вследствие огромной проникающей способности нейтрино накапливать такую энергию практически невозможно.

8. Упругостная энергия – потенциальная энергия механически упруго измененного тела (сжатая пружина, газ), освобождающаяся при снятии нагрузки чаще всего в виде механической энергии.

9. Тепловая энергия – часть энергии теплового движения частиц, которая освобождается при наличии разности температур тела и окружающей среды.

10. Механическая энергия – кинетическая энергия свободнодвижущихся тел и отдельных частиц.

11. Электрическая (электродинамическая) энергия – энергия электрического поля.

12. Мезонная энергия – энергия движения мезонов (пионов) – квантов ядерного поля, путем обмена которыми взаимодействуют нуклоны.

13. Электромагнитная (фотонная) – энергия движения фотонов электромагнитного поля.

14. Гравидинамическая энергия (гравитонная) – энергия движения гипотетических квантов гравитационного поля – гравитонов.

15. Нейтринодинамическая энергия – энергия движения нейтрино.

Часто в особый вид выделяют биологическую энергию. Но биологические процессы – всего лишь особая группа физико-химических процессов, в которых участвуют те же виды энергии, что и в других. Обычно в растениях электромагнитная энергия солнечного излучения превращается в химическую, а в организмах животных химическая энергия пищи превращается в тепловую, механическую, электрическую, а иногда и в световую (электромагнитную). Поэтому правильнее говорить не о биологической энергии, а о биологических преобразователях энергии – растениях и животных.

Большинство специалистов считает, что пока нет оснований выделять в отдельный вид психическую энергию, так как неясно, каким материальным носителям, формам движения материи и видам взаимодействия можно сопоставить эту энергию. Однако ни один акт человеческой деятельности не может обойтись без мотивационного, а значит и «психоэнергетического» обеспечения, источником которого служит физико-химическая энергия организма.

В последнее время на основе изучения космических явлений, в частности, солнечной активности, теоретики предполагают существование «вакуумной энергии». Космический вакуум рассматривается ими как сверхплотная среда с мелкодисперсной структурой, а обычная материя – как разреженное состояние этой среды. При фантастической плотности в 10^{93} г/см^3 между «зернами» вакуума действуют огромные гравитационные силы, и энергия вакуума оказывается как бы «запечатанной». Чтобы возбудить вакуум и освободить эту энергию, надо сжать материю до огромной плотности, что в земных условиях не представляется пока возможным.

Из всех видов энергии практическое использование имеют всего 10 видов: ядерная, химическая, упругостная, гравитационная, тепловая, механическая, электрическая, электромагнитная, электростатическая и магнитостатическая. При этом непосредственно используется всего четыре вида: тепловая (70–75%), механическая (около 20–22%), электрическая (около 3–5%) и электромагнитная (световая) – менее 1%. Главным источником непосредственно используемых видов энергии служит пока химическая энергия минеральных органических веществ (уголь, нефть, природный газ и т.д.), запасы которой на Земле находятся на грани истощения. Поэтому остро стоит вопрос о новых источниках энергии и новых видах энергии, которые человек сможет использовать в своей деятельности.

Теперь вернемся к энтропии. И здесь обнаруживается, что энтропия не передает всего многообразия энергии. Ее виды немногочисленны и не совпадают с видами энергии. Основными видами энтропии являются: тепловая, структурная и информационная. С тепловой энтропией мы уже знакомы (это мера рассеяния энергии). Структурная энтропия служит мерой неупорядоченности строения систем. Так, если из строительных деталей собрать дом, то энтропия уменьшится, так как упорядоченность системы возрастет. Представление об информационной энтро-

пии может дать следующий пример. При охлаждении газа до температуры абсолютного нуля он сначала переходит в жидкое состояние, а затем в твердое, т.е. переходит из неупорядоченного состояние во все более упорядоченное. Соответственно растет и информация о расположении частиц газа. В газообразном состоянии система беспорядочна, и судить о расположении частиц можно лишь на основе теории вероятности. В жидкости наблюдается ближний порядок – непосредственное окружение уже становится более определенным. Максимальная упорядоченность наблюдается в твердом состоянии, особенно при абсолютном нуле. В твердом состоянии известен и ближний и дальний порядок, т.е. становятся известными и дальние соседи. Максимальная упорядоченность соответствует и максимальной информированности и минимальной величине информационной энтропии. Таким образом, информация эквивалентна отрицательной энтропии, или, как называл ее Л. Бриллюэн, «негэнтропии». Отсюда информационная энтропия – это мера неопределенности информации.

Термодинамика и здоровье

Всякий человеческий организм можно уподобить ***открытой*** термодинамической системе - он обменивается веществом и энергией с окружающей средой. Мы также упоминали о том, что всякий организм «работает» с уменьшением энтропии, то есть в своей деятельности стремится максимально удалиться от равновесного состояния, которое означает смерть организма. Эта борьба требует огромных энергетических затрат, поэтому всю жизнь мы вынуждены поглощать пищу.

Диетология

У медиков есть особая наука о питании - диетология. Она знает многое про пищевые продукты, их пользу и вред. Одна из важных количественных характеристик пищи - её калорийность. А это ничто иное, как тепловой эффект химической реакции горения пищи, то есть чисто термодинамическое понятие. Иначе калорийность еще называют теплотворной способностью пищи. Термодинамика утверждает: все реакции горения - экзотермич-

ны, то есть идут с выделением теплоты, которую и использует наш организм. Не случайно единицы измерения калорийности пищи совпадают с единицами измерения теплоты и энергии.

В термодинамике чаще всего тепловой эффект реакции определяют в изобарических условиях, то есть при постоянном давлении. Эти условия подходят и для человеческого организма - в нашем организме поддерживается постоянство давления, и даже незначительные его колебания сильно отражаются на самочувствии человека.

Тепловой эффект в изобарических условиях становится функцией состояния и зависит только от начального состояния - энергетики пищевых веществ, и от конечного состояния - энергетики продуктов расщепления.

И все бы хорошо, но пищевые продукты - это чаще всего смеси, и поэтому рассчитать их теплотворную способность на 1 моль невозможно, её рассчитывают на 1 грамм пищи.

Энергоносители - продукты питания

Из органической химии мы знаем, что все пищевые продукты включают в себя три класса органических соединений - белки, жиры и углеводы.

Большая часть энергии, в которой нуждается наш организм, поступает из углеводов и жиров. В процессе пищеварения углеводы разлагаются на глюкозу $C_6H_{12}O_6$. Она переносится током крови к клеткам организма, где реагирует с O_2(газ) в несколько стадий, превращаясь в конце концов в CO_2(газ) и H_20(ж) с выделением энергии $\Delta H°$.

$C_6H_{12}O_6$(т.) + бO_2(газ) → 6$C0_2$(газ) + бH_2O(ж); $\Delta H°$ = -2816 кДж.

Разложение углеводов происходит быстро, поэтому их энергия сразу же поступает в организм. Средняя калорийность углеводов равна 17 кДж/г (около 4 ккал/г).

Подобно углеводам, жиры в результате метаболизма также превращаются в $C0_2$ и H_20. Например, сгорание типичного жира стеарина $C_{57}H_{110}O_6$(тв.) происходит по уравнению

$$2C_{57}H_{110}O_6\text{(тв.)} + 163O_2\text{(газ)} \rightarrow 114C0_2\text{(газ)} + 11OH_20\text{(ж)}.\ \Delta H = -75\ 520\ \text{кДж}.$$

Химическая энергия пищи, которая не расходуется на поддержание температуры тела или на мускульную активность

либо, наконец, на перегруппировки атомов пищи в клетки организма, запасается в нем в виде жиров. Существуют по крайней мере две причины, по которым жиры оказываются удобными для хранения избытка энергии в организме:

- они нерастворимы в воде, что позволяет им накапливаться в теле;

- жиры выделяют больше энергии в расчете на один грамм, чем белки или углеводы, что делает их наиболее эффективным источником энергии. Средняя калорийность жиров равна 38 кДж/г (около 9 ккал/г).

Белки используются организмом в основном как строительный материал для клеток стенок различных органов, кожи, волос, мускулов и так далее. В среднем при метаболизме белков выделяется 17 кДж/г (около 4 ккал/г).

Как измеряют калорийность пищевых продуктов

Интересно, а как измеряют калорийность пищевых продуктов? Самим медикам было бы трудно справиться с этим, ведь организм - очень сложная система. Здесь на помощь снова пришла термодинамика.

Тепловой эффект в условиях существования организма есть функция состояния, то есть не зависит от того, где и как вещество вступает в реакцию при условии, что продукты реакции остаются неизменными. Поэтому для определения калорийности пищи используют калориметр сгорания. Не слишком достоверные результаты получаются только для белков - в калориметрической бомбе азот, содержащийся в белках, выделяется в виде N_2 или оксидов азота, а из организма он выводится в виде мочевины CH_4N_2O.

С помощью калориметра подсчитали, что в среднем потребность организма в энергии составляет 6300 *кДж* (около 1500 *ккал).* Но для каждого из нас эта цифра различна. Объяснение этому дает Первый ***закон термодинамики:*** теплота, получаемая системой, идет на изменение её внутренней энергии и совершение работы

$$Q = \Delta U + A.$$

Под изменением внутренней энергии мы подразумеваем её затраты на поддержание температуры тела, перегруппировку атомов пищи в клетки организма и, наконец, запас энергии в виде жиров. Зная это, диетологи могут смело советовать желающим увеличить свой вес в состоянии покоя (когда величина совершаемой работы мала) поглощать как можно больше высококалорийной пищи - жиров и углеводов: тогда излишняя внутренняя энергия пойдет на организацию запаса жиров в организме.

Напротив, желающим похудеть обычно рекомендуют побольше двигаться и поменьше есть булочек и пирожков (то есть уменьшить количество энергии, поступающей в виде пищи).

И еще. Чтобы зимой не мёрзнуть на улице и не простужаться, медики советуют хорошо питаться. В голодном состоянии организм «вынужден» расходовать меньше энергии на поддержание температуры тела и протекание внутренних процессов, а ослабленный организм может легче «подхватить» простуду.

Энтропия и болезни

Кстати, о болезнях. Они тоже в ведении термодинамики. Практически все болезни - начиная обычным гриппом и заканчивая пугающим раком - развиваются по закону, очень похожему **на** статистическую трактовку энтропии Больцмана:

$$S = K\ln W$$

Рассмотрим единую биологическую систему - население современного мегаполиса. Общая энтропия этой системы

$$S_{общ.} = \sum S_i,$$

где S_i,— энтропия отдельного человеческого организма.

Пусть в системе появился один носитель заболевания. Упорядоченность работы его организма уменьшается - вирус вносит хаос в отлаженную систему. $S_{общ.}$ следовательно, тоже повышается и резко увеличивает вероятность наступления со-

бытия - заражения вирусом других членов мегаполиса. При заражении второго организма $S_{общ.}$ снова возрастает и снова резко «подскакивает» величина W. Возможно, такая трактовка распространения заболевания вызовет сомнение, но экспериментальными данными доказан экспоненциальный характер развития эпидемий среди людей и животных. Поэтому врачи должны быть максимально внимательны - при несвоевременных медицинских мерах эпидемия почти мгновенно охватывает город. Мы не зря говорили о мегаполисе - как и в термодинамике, чем больше число объектов в составе макросистемы, тем точнее действует закон.

Подобная экспоненциальная зависимость действует и внутри отдельного организма. Рассмотрим распространение в нем одного из самых страшных заболеваний - рака. Здоровые клетки организма высоко дифференцированы - клетки печени, мозга, мышечных тканей не похожи друг на друга, они имеют сложное строение и строго выполняют свою функцию. Высокая их организация означает очень низкую величину энтропии здоровой клетки $S_{здор.}$ При возникновении опухолей клетки начинают себя вести подобно одноклеточным организмам - размножаются. При этом каждая клетка опухоли постепенно теряет свою дифференциацию - опухолевые клетки мозга, печени, желудка все менее отличаются друг от друга. Их структура становится менее упорядоченной, а деятельность - менее специализированной. Это означает, что энтропия опухолевых клеток больше, чем здоровых. Таким образом, для процесса образования опухоли:

$$S_{опухоли} > 0$$

Долгое время лекарства, замедляющие развитие опухоли, искали наощупь. Основываясь на термодинамических выводах, можно сказать - лекарство против рака должно действовать таким ооразом, чтобы приостанавливать рост энтропии в системе. По принципу «подобное лечи подобным», действие лекарства должно описываться во времени *экспоненциальной зависимостью,* причем величина уменьшающего энтропию действия лекарства должна. перекрывать увеличивающуюся энтропию опухоли, тогда развитие заболевания приостанавливается. Сейчас эффективность лекарства описывают величиной

$$N = f_{контр.}/f_{оп.,}$$

где $f_{контр.}$ - степень экспоненты в уравнении динамики образования опухоли без лечения; $f_{оп.}$ – степень экспоненты при действии лекарства.

Чем больше N, тем эффективнее лекарство.

Итак, термодинамика вносит свой вклад в борьбу с самыми страшными заболеваниями человечества. Но в запасе у медиков остался самый глобальный вопрос: почему человек всю жизнь пытается удалиться от равновесия, потребляя негэнтропию, и все равно в конце концов стареет и умирает?

Процесс старения характерен только для многоклеточного организма, состоящего из множества дифференцированных клеток. Все клетки можно разделить на две группы:

-клетки, способные к делению - клетки разных органов;

-неделящиеся клетки - клетки поперечно-полосатой мышцы и головного мозга. Таким образом, старение связано либо с деятельностью клеток первой группы, либо с дегенеративными процессами клеток второй группы.

Иногда старение организма уподобляют изнашиванию машины. Наибольшему износу, очевидно, должны подвергаться неделящиеся клетки, и этот износ означает увеличение энтропии — беспорядка их действия и смерть.

Но путем сложных экспериментов биологам удалось показать, что жизнь неделящейся клетки представляет собой непрерывный процесс адаптации к условиям среды, это означает постоянное уменьшение энтропии неделящихся клеток.

Таким образом, процесс старения и смерти организма связан с деятельностью делящихся паренхиматозных клеток. Значит, для обеспечения долголетия врач должен советовать своим пациентам побольше нагружать работой клетки головного мозга и поперечно-полосатой мышцы и, напротив, избегать сильных раздражителей и задавать умеренную функциональную нагрузку паренхиматозным органам - печени, почкам, эндокринному аппарату. На более понятном языке это означает - не злоупотреблять спиртным, табачными изделиями, жареной и жирной пищей, не нарушать гормональный фон организма.

Термодинамика в общественных отношениях

Общество термодинамика тоже рассматривает как единую систему, открытую с термодинамической точки зрения. Как и человеческий организм, общество в целом постоянно потребляет энергию и вещество, и не только в виде пищи, но и в виде затрат на организацию производственной деятельности, преобразование среды обитания и прочее.

Зададим себе вопрос - для чего образовалось общество и чем вызвано его постоянное стремление развиваться? Не экономичнее ли было существовать каждому человеку в отдельности?

Оказывается, нет. Полная разобщенность людей означала бы увеличение хаоса в человеческом сообществе. Чем больше хаоса, тем больше величина энтропии, тем ближе состояние равновесия. Для общества как термодинамически открытой системы равновесие означает смерть. Для каждой человеческой особи в отдельности выход известен - стремление убежать от равновесия проявляется в подавлении увеличивающейся в ходе процессов жизнедеятельности энтропии за счет потребления веществ с низкой энтропией в виде пищи и выделения веществ с более высокой энтропией в среду обитания. Так поступает весь живой мир.

Принцип диссипации энергии

Однако энергию в виде пищи мы получаем не в произвольном количестве. Для любой живой системы действует принцип, сформулированный Н.Н. Моисеевым: при прочих равных условиях в системе реализуются такие формы организации (поведения) ее составляющих, при которых данная система производит минимум энтропии, то есть использует энергию максимально экономно. Этот принцип называется ***принципом минимума диссипации энергии***.

С момента появления в природе человеческого сообщества, движущей силой его развития является стремление сэкономить энергию, и не из-за высокой сознательности человека, а из-за естественного недостатка наиболее доступного источника потенциальной энергии - пищи.

Каждое достижение нового уровня экономии обеспечива-

ет большую устойчивость системы. Поэтому происходит самоорганизация человеческого общества. Все мы знаем по себе - жить совместно экономнее, чем в одиночку: и пищи расходуется меньше, и энергии на обогрев жилья тоже. Да и в ходе эволюции уже в подсознании закрепилось - человек существо общественное, это экономнее и так легче выжить (на языке термодинамики - избежать равновесия). На деле это является прямым проявлением принципа минимума диссипации энергии.

Чуть позднее человеческое общество начинает создавать нормы поведения. Сначала они проявляются в религиозных верованиях, позже - в нормах морали и законах. Одни поступки человека оказываются предпочтительными, другие - негативными.

Действительно, положительным для каждой неравновесной системы является такое поведение ее частей, которое обеспечивает, говоря языком физики, минимальные внутренние потери энергии, минимальное внутреннее трение. Для человеческого общества к таким потерям относятся результаты насилия и воровства, мести и зависти. И наоборот, снижают «трение» милосердие и любовь (они обеспечивают минимум внутренних энергопотерь).

Но, казалось бы, каждый из нас обладает свободой в выборе поведения, волен поступать вопреки заповедям и законам. Здесь нет никакого противоречия. Вспомните, при рассмотрении микромира мы не могли термодинамически описать поведение отдельной частицы, но, пользуясь понятием вероятности, можем описать систему в целом (на этом основывались выводы Больцмана). Если бы нашелся Некто, могущий рассматривать человечество так, как человек рассматривает объекты микромира, то для него поведение людей было бы похоже на поведение микрочастиц.

Принцип минимума производства энтропии

В человеческом обществе принцип минимума производства энтропии проявляется в виде естественного отбора. Строение организма или поведение живого существа в сообществе может отличаться от оптимального, но отбор оставляет такому объекту мало шансов на выживание - это обязательно приведет его к поражению в конкурентной борьбе (если это профессио-

нальная деятельность), к болезни (если это образ жизни), негативно отразится на нем и его потомках (если это связано с нормами морали). Последнее объясняется тем, что действуя вопреки ограничениям, накладываемом Принципом, человек не только ухудшает свое состояние, но и увеличивает энтропию окружающей его системы - общества, а это, в свою очередь, снижает жизнестойкость всей этой системы, что не может не отразиться рано или поздно на её членах и в конечном итоге на нем самом,

Очевидный пример - та экологическая ситуация, с которой мы столкнулись. Человек стал неэкономично расходовать добываемую им энергию - часть её рассеивается в окружающей среде, вызывая тепловое загрязнение, часть выбрасывается с отходами, вполне годными к использованию. Такое неоправданно большое приращение энтропии в биосфере несомненно отразилось на человеке - болезни (означающие увеличение энтропии в организме), ухудшение условий существования (что означает дополнительные энергетические затраты на жизнь) — всем этим мы расплачиваемся за несоблюдение Принципа минимума производства энтропии и максимума использования накопленной информации.

Взаимосвязь энтропии и информации в обществе

От остальной живой природы человек отличается тем, что обладает способностью мыслить, получать и обмениваться информацией. По термодинамическому закону информация и энтропия взаимосвязаны:

$$S_{нег.} = A_{мин.}/T\ln J(t),$$

где T – температура, $S_{нег.}=-S$.

Чем большей информацией обладает организм, тем больше он понижает свою энтропию, следовательно, повышает энтропию окружающей среды. Читая этот научный труд, вы получаете некоторую информацию, то есть совершаете при этом умственную работу, выделяя больше тепла, энтропии, чем в состоянии безделья. Правда, в энтропийных единицах плата за информацию мала и составляет $2{,}5\cdot10^{-24}$ кал/град. В этом смысле написание всех книг, созданных за всю историю человечества, увеличило энтропию Вселенной меньше, чем один вскипевший

чайник.

Возможно, эта энтропийная «экономность» информации и объясняет столь значительный научный прогресс человечества: по данным социологов, каждые 10-15 лет удваивается число реферативных журналов, число научных работников, что характеризует рост объема полученной научной информации.

Использование полученной информации (в частности, в здравоохранении) позволяет человеку уменьшить темп нарастания энтропии (dS/dt) в организме, то есть отдалить процессы старения и смерти. В настоящее время из-за увеличения продолжительности жизни и уменьшения смертности кривая мирового прироста населения приближается к экспоненциальной зависимости, обнаруженной Больцманом, то есть $S = K\ln W$.

Значит, при возможности полностью преодолеть увеличение энтропии организма ($\Delta S=0$) мы приходим к постоянному во времени значению W, что практически означает бессмертие человеческой особи и экспоненциальный прирост населения во времени. Таким образом, и процесс регулирования прироста населения мы вынуждены увязывать с наличием энтропии.

В конце еще раз хочется подтвердить важность законов термодинамики для человеческого общества. Согласно одной из древнейших религий мира - индуизму, - все в мире определяет триединое божество: Вишну - бог всего сущего, Шива - уничтожающий материальный космос и Брахма - создающий все формы жизни. Трудно не заметить, что основные постулаты термодинамики соответствуют этим реалиям:

=> Закон сохранения энергии - Закон существования,

=> Второе начало - Закон гибели,

=> Принцип минимума диссипации - Закон жизни.

Экономическое развитие общества тесно связано с потреблением все возрастающих количеств энергии. В завершившимся столетии население мира возросло втрое, а использование энергии - десятикратно. И это, безусловно, не временная тенденция.

Основной источник производимой людьми энергии — минеральное сырье, главным образом уголь и нефть. Следует, однако, иметь в виду, что ресурсы ископаемого топлива неуклонно истощаются. Это заставляет нас думать о повышении эффективности их использования. С другой стороны, необходимость

защиты окружающей среды стимулирует усилия, направленные к созданию экологически чистых источников энергии и разработке усовершенствованных технологий использования традиционного сырья.

Все вышесказанное относится к макромиру. В микромире, мире элементарных частиц, и мегамире – мире космоса – при движении с огромными скоростями при искривлениях пространства и замедлении времени рассмотренные выше закономерности могут нарушаться. Рассмотрим же как шло формирование макро- и мегамира, возникновение неживой и живой материи на бесконечных пространствах Вселенной и в Солнечной системе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Расскажите о развитии представлений о пространстве и времени.
2. В чем суть идей Ньютона об «абсолютном» пространстве и времени?
3. Какие экспериментальные факты опровергли идеи «абсолютного» пространства и времени?
4. Какова роль А. Эйнштейна в разрешении проблемы пространства и времени?
5. Какую величину имеет скорость света?
6. Приведите уравнение, связывающее массу и энергию.
7. Приведите два основных следствия из теории относительности.
8. Каково значение открытий физики XX в. для жизни человеческого общества?
9. Каковы координаты пространства?
10. Каковы координаты времени? Может ли время течь вспять?
11. Дайте определения реального, перцептуального и концептуального пространства и времени.
12. Какие науки изучают концептуальное пространство и время?
13. Как решаются проблемы пространства и времени в физических и химических системах?
14. Как решаются проблемы пространства и времени в биологических системах?
15. Дайте определение понятий «энергия» и «энтропия».
16. Перечислите виды энергии. Какие виды энергии непосредственно использует человек?

17. Как связаны масса и энергия?
18. Поясните выражение «энтропия – это мера рассеянной энергии».
19. Поясните выражение «энтропия – это мера беспорядка в системе».
20. Как изменяется энтропия в системе для самопроизвольных процессов?
21. Что понимают под информационной энтропией?
22. Каково соотношение энтропийного и энтальпийного факторов процесса?
23. Возможна ли «тепловая смерть» Вселенной?
24. В чем проявляется различие открытых и закрытых систем?
25. Как называются материальные структуры, способные рассеивать энергию?
26. Как происходит процесс самоорганизации в открытых системах?
27. Что изучает синергетика?
28. На основе каких химических реакций И.Р. Пригожин заложил основы нелинейной термодинамики?
29. Возможна ли самоорганизация в неорганических системах?
30. Каковы условия самоорганизации систем?
31. Как связана энтропия с информацией?
32. Каково проявление энтропии в человеческом обществе?

Глава 3

ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

По вечерам в небе загораются звезды. В ясную погоду невооруженным глазом их можно насчитать на небосводе до трех тысяч. Но это лишь очень небольшая часть тех звезд и других космических объектов, которые существуют в нашей области мира...

В безлунные ночи хорошо виден Млечный путь, протянувшийся от одной стороны горизонта до другой. Он кажется скоплением светящихся туманных масс. Но стоит направить на Млечный путь телескоп, и мы сразу обнаружим, что он состоит из множества звезд. Эта звездная система, к которой принадлежит и наше Солнце, получила название *Галактики.* Нам она кажется звездной полосой. Но если бы можно было взглянуть на нее откуда-то со стороны, из мирового пространства, мы увидели бы, что она напоминает сплюснутый шар, заполненный 150 миллиардами звезд. размеры нашей галактики около 40000 парсеков, толщина в центральной части около 5000 парсеков. Наше Солнце находится на расстоянии 8000 парсеков от центра Галактики и движется со скоростью около 300 км/сек.

Изучать нашу Галактику необычайно сложно. Это одна из труднейших задач науки. Ведь мы находимся внутри этой Галактики и не можем ни вылететь за ее пределы (чтобы взглянуть на нее со стороны), ни побывать в различных ее точках. Тем не менее наука преодолевает эти трудности. Тщательно и всесторонне ученые исследуют электромагнитные излучения, приходящие из различных районов Галактики. Но нередко космические события не удается исследовать непосредственно; тогда на помощь астрономам приходит теория. Она связывает воедино результаты многочисленных наблюдений, обобщает их, находит в них определенные закономерности и таким образом восстанавливает недостающие в наших знаниях звенья космических процессов. Вселенная имеет гигантские размеры, а это означает, что для изучения ее объектов необходимо применять другие единицы измерения, отличные от единиц измерения на Земле. Для измерений в космическом пространстве используют:

- световой год, который соответствует расстоянию, которое пройдет свет за один год;
- астрономическая единица – соответствует радиусу орбиты Земли (1 а.е. равна $1{,}496 \cdot 10^{11}$ км)
- парсек (параллакс-секунда), соответствует расстоянию, с которого радиус земной орбиты виден под углом 1 секунда. Под таким углом однокопеечная монета видна с расстояния 3 км. Самая ближняя звезда от Солнца – это Проксима Центавра находится на расстоянии 1,3 парсека или $4{,}1 \cdot 10^{13}$ км.

Средняя плотность галактик в наблюдаемой части. Вселенной составляет около 3 на 1 кубический миллион парсеков. Типичная скорость движения галактик около 1000 км/сек. Для прохождения расстояния до ближайшей соседки требуется около миллиарда лет. Отсюда видно, что за время существования Вселенной каждая галактика могла испытать по меньшей мере одно столкновение с другой галактикой.

Сегодня мы уже достаточно уверенно можем говорить о том, как же выглядит наш звездный остров. В центре его находится ядро, окруженное множеством звезд. Диаметр ядра около 9 градусов, линейные размеры – около 4000 световых лет. От ядра отходит несколько могучих спиральных ветвей... Наша Галактика столь велика, что ее размеры нелегко себе представить: от одного ее края до другого световой луч путешествует около 100 тысяч земных лет.

Большая часть звезд нашей Галактики сосредоточена в гигантском «диске» толщиной около 1500 световых лет. На расстоянии около 30 тысяч световых лет 8000 парсеков) от центра Галактики расположено наше Солнце.

Несмотря на то, что Млечный путь представляется нам весьма «густой» звездной системой, в действительности звезды в Галактике расположены довольно редко. Так, в окрестностях Солнца среднее расстояние между двумя ближайшими звездами приблизительно в 10 миллионов раз превосходит их собственные поперечники.

Основное «население» Галактики – *звезды.* Мир этих небесных тел необыкновенно разнообразен. И хотя все звезды – раскаленные газовые шары, подобные Солнцу, их физические характеристики различаются весьма существенно. Есть, например, звезды гиганты и сверхгиганты. По своей величине они

значительно превосходят Солнце. Объем одной из звезд в созвездии Цефея больше объема нашего дневного светила в 14 миллиардов раз. Если бы эту громадную звезду можно было поместить на место Солнца, в центре нашей планетной системы, то не только Земля, но и орбиты более далеких планет – Марса, Юпитера, даже Сатурна – оказались бы внутри этого сверхгигантского шара.

Кроме звезд-гигантов существуют и звезды-карлики, значительно уступающие по своим размерам Солнцу. Известны карлики, которые меньше Земли и даже Луны.

Но в то же время звезды не слишком сильно отличаются друг от друга по количеству вещества. Минимально возможная масса звезды – около одной десятой массы Солнца, максимально – несколько десятков солнечных масс. Такие ограничения отнюдь не случайны: источником энергии звезд являются термоядерные реакции, протекающие в их недрах. Как известно, для подобных реакций необходимы чрезвычайно высокие температуры – порядка нескольких десятков миллионов градусов. При небольшой массе давление и температура в недрах небесного тела окажутся недостаточными для поддержания термоядерного процесса, и такое тело не будет звездой. Наоборот, звезда с чересчур большой массой неизбежно окажется неустойчивой – она не сможет существовать длительное время.

Но если сто солнечных масс распределить по объему уже знакомой нам звезды-сверхгиганта из созвездия Цефея, то плотность вещества окажется весьма незначительной. И действительно, звезды-гиганты и сверхгиганты необычайно разрежены. Плотность их вещества в тысячи, даже в десятки тысяч раз меньше плотности того воздуха, которым мы дышим.

Звезды обладают различными поверхностными температурами: от нескольких тысяч до десятков тысяч градусов. Соответственно различен и цвет звезд. Сравнительно «холодные» звезды – с температурой около 3–4 тысяч градусов – красноватого цвета. Наше Солнце, поверхность которого «нагрета» до 6 тысяч градусов, обладает желто-зеленым цветом. Самые горячие звезды с температурой, превосходящей 10–12 тысяч градусов, –белые и голубоватые.

Хотя звезды и весьма разнообразны, их можно разделить на классы однотипных объектов, которые обладают сходными

путями развития. Самый «населенный» класс – так называемая главная последовательность звезд, к которой принадлежит и наше Солнце. В эволюции этих звезд ученые выделяют длительный период устойчивого состояния, когда реакция в их недрах протекала без особых колебаний и физические характеристики почти не менялись.

Вообще следует заметить, что большинство звезд развивается очень и очень медленно (с точки зрения земных масштабов времени). Поэтому особый интерес для астрономов представляют так называемые *переменные звезды,* физические параметры которых меняются за сравнительно короткие промежутки времени. К числу таких звезд относятся цефеиды – звезды, которые то разгораются, то затухают. Как показали исследования, подобные колебания блеска связаны с пульсацией этих звезд: они то сжимаются, то «раздуваются».

Один из самых грандиозных физических процессов во Вселенной – вспышки так называемых новых и сверхновых звезд. Название это не совсем удачно. В действительности звезда существует и до вспышки. Но в какой-то момент под действием бурных физических процессов такая звезда неожиданно увеличивается в объеме, «раздувается», сбрасывает свою газовую оболочку и в течение нескольких суток выделяет чудовищную энергию, светя, как миллиарды солнц. Затем, исчерпав свои ресурсы, эта звезда постепенно тускнеет, а на месте вспышки остается газовая туманность.

Одна из таких туманностей, получившая за свою характерную форму название Крабовидной, образовалась на месте вспышки знаменитой сверхновой звезды, замеченной астрономами в 1054 г. Крабовидная туманность – мощный источник космического радиоизлучения. А это значит, что внутри нее происходят интенсивные физические процессы.

Наше Солнце – «одинокая» звезда. Она лишена подобных себе горячих спутников. Но во Вселенной есть двойные, тройные и более сложные звездные системы, члены которых связаны друг с другом силами взаимного притяжения и обращаются вокруг общего центра масс. Некоторые скопления содержат десятки, сотни и тысячи звезд. А число звезд в больших шаровых скоплениях достигает даже сотен тысяч.

Межзвездное пространство тоже не пусто. Оно заполнено газовыми и пылевыми частицами, которые в некоторых местах образуют гигантские облака – туманности, светлые и темные.

Звезды, составляющие Галактику, движутся вокруг ее центра по очень сложным орбитам. С огромной скоростью – около 250 километров в секунду – несется в мировом пространстве и наше Солнце, увлекая за собой свои планеты. Солнечная система совершает один полный оборот вокруг галактического центра за 180 миллионов лет.

Ближайшие к нашей Галактике звездные системы удалены от нас на расстояние около 150 тысяч световых лет. Они видны на небе Южного полушария как маленькие туманные пятнышки. Впервые эти внегалактические туманности были подробно описаны спутником и биографом Магеллана Пигафеттой во время знаменитого кругосветного путешествия. Они вошли в историю науки под названием Магеллановых облаков – Большого и Малого.

Научные исследования последних лет, в частности радиоастрономические, показали, что Магеллановы облака – это своеобразные спутники нашей Галактики: они обращаются вместе с ней вокруг общего центра. А поскольку в этой «тройной системе» наша Галактика по своей массе наибольшая, то Магеллановы облака можно считать ее спутниками.

На расстоянии около 2 миллионов световых лет от нас находится хорошо известная теперь многим туманность Андромеды. По своему строению она напоминает нашу Галактику, но значительно превосходит ее своими размерами. По-видимому, это одна из самых больших галактик в нашей области Вселенной. Туманность Андромеды можно наблюдать даже в обычный бинокль, а при благоприятных условиях – и невооруженным глазом. Но то, что мы видим, лишь центральная часть туманности: действительные ее размеры гораздо больше видимой части. Подобно нашей Галактике, галактика Андромеды имеет спутников – две эллиптические туманности, состоящие из огромного количества звезд.

Туманность Андромеды вместе с нашей Галактикой и другими соседними звездными системами образует так называемую *Местную систему галактик.* В ее состав входит 16 галактик, а поперечник ее равен 2 миллионам световых лет. Исследования показывают, что звездные острова, галактики –

типичные объекты Вселенной. Астрономам теперь известно великое множество галактик во всех участках небесной сферы.

Галактики имеют разнообразную форму и строение. Есть галактики шаровые и эллиптические, галактики в форме диска, спиралевидные, подобно нашей, наконец, галактики неправильной формы. В «наблюдаемой Вселенной», т.е. в области, доступной современным средствам астрономических исследований, насчитываются миллиарды галактик. Их совокупность ученые назвали *Метагалактикой.*

Картина Вселенной, которую мы нарисовали на основе современных астрономических данных, несколько напоминает моментальную фотографию, на которой запечатлено взаимное расположение различных космических объектов. Но Вселенная – это вовсе не простая совокупность небесных тел, в ней постоянно происходят чрезвычайно сложные и многообразные физические процессы.

И именно с этой точки зрения изучение Вселенной представляет наибольший интерес для современного естествознания. Космос – бесконечно разнообразная лаборатория, где можно изучать такие состояния материи, такие физические условия и процессы, которые недостижимы у нас на Земле.

Стремительный прогресс науки и техники в период научно-технической революции, современниками которой мы являемся, ведет ко все новым и новым открытиям, все более глубокому проникновению в самые сокровенные тайны природы, дальнейшему познанию фундаментальных законов мироздания. И Вселенная в наше время становится все более важным источником уникальной информации о явлениях природы.

Еще в первой четверти текущего столетия ученые представляли себе Вселенную как нечто неизменное, стационарное, не меняющее своих основных свойств. Однако в 1922 г. советский математик А.А. Фридман, решая уравнения теории относительности А. Эйнштейна, пришел к выводу, что материя в нашей области Вселенной должна либо расширяться, либо сжиматься, либо пульсировать. Астрономы, в свою очередь, обнаружили в спектрах излучения звездных островов – галактик – *«красное смещение» спектральных линий.* Это смещение тем сильнее, чем дальше находится от нас та или иная галактика. Это смещение основано на «эффекте Доплера».

Суть эффекта Допплера состоит в том, что при удалении от нас какого-либо источника излучения воспринимаемая нами частота колебаний излучения должна уменьшаться, а длина волны – соответственно увеличиваться. Когда же источник излучения приближается, наблюдается обратное явление. Если источник излучает свет, то при его удалении происходит «покраснение», т.е. линии спектра сдвигаются в сторону более длинных красных волн. А если он приближается, то будет наблюдаться «фиолетовое смещение». Вполне естественно, что ученые связали с этим эффектом Допплера и красное смещение, которое они наблюдали в спектрах галактик.

При этом открылась совершенно необычная картина движения гигантских космических объектов во Вселенной. Получалось, что галактики разбегаются от нас во всех направлениях, и, чем дальше находится та или иная галактика, тем с большей скоростью она движется. Происходит *общее расширение Метагалактики,* которое совершается таким образом, что скорость взаимного удаления двух звездных систем тем выше, чем больше расстояние между ними.

Итак, мы живем в расширяющейся Вселенной, и это обстоятельство имеет важнейшее значение. Если бы галактики не разбегались, а оставались неподвижными или сближались, то плотность излучения в Метагалактике была бы столь высока, что жизнь в этих условиях была бы совершенно невозможна.

Картину взаимного разбегания галактик можно мысленно обернуть вспять, и тогда мы придем к выводу, что в отдаленном прошлом, около 18 миллиардов лет назад, материя находилась в ином состоянии, нежели в нашу эпоху. Тогда не было еще ни звезд, ни планет, ни туманностей, ни галактик. Вся материя была сосредоточена в очень плотном компактном сгустке горячей плазмы – смеси элементарных частиц вещества и излучения. Затем произошел взрыв этого сгустка и началось его расширение, в процессе которого образовались сначала атомы, а затем звезды, галактики и все другие космические объекты.

Так возникла *теория расширяющейся Вселенной* – одна из наиболее впечатляющих научных теорий XX столетия. Представления о неизменной стационарной Вселенной уступили место новым представлениям о Вселенной, меняющейся с течением времени. Это был новый, чрезвычайно важный шаг в познании свойств окружающего нас мира. Дальнейшие

исследования показали, что различные нестационарные явления вообще играют важную роль в современной Вселенной.

В 1946–1947 гг. академик В.А. Амбарцумян обнаружил особые звездные скопления, получившие название звездных ассоциаций. Это группы горячих голубых и белых звезд, отличающиеся значительной неустойчивостью. Такие скопления постепенно распадаются, а звезды, входящие в их состав, довольно быстро перемешиваются с окружающими звездами Галактики. Подсчеты показывают, что для полного распада звездных ассоциаций достаточно 2–3 миллионов лет. Это значит, что звезды, входящие в состав любой ассоциации, – молодые звезды. Если бы они образовались, скажем, 6 миллионов лет назад, ассоциация давно бы распалась. Следовательно, наблюдаемые нами сегодня звездные ассоциации состоят из молодых звезд. Тем самым был установлен фундаментальный факт – звезды могут возникать и в нашу эпоху.

Дальнейшее изучение звездных ассоциаций помогло обнаружить еще одно чрезвычайно интересное явление. Оказалось, что звезды, входящие в состав этих скоплений, обладают радиальными скоростями: они как бы «разбегаются» от общего центра (или нескольких центров) во все стороны. Это напоминает разброс осколков взорвавшегося тела.

В.А. Амбарцумян выдвинул смелую гипотезу: *звезды в ассоциациях возникают в результате распада на части какого-то центрального сверхплотного тела – протозвезды.* Наблюдать протозвезду мы не можем, так как, будучи мощным аккумулятором энергии, она свою энергию не излучает. Но когда из дозвездной материи образуются звезды, сигналы их удается зарегистрировать.

Вопрос о происхождении звезд и других космических объектов чрезвычайно сложен, и гипотеза академика Амбарцумяна о путях возникновения звезд и звездных систем не единственная. Большой популярностью среди астрономов пользуется представление о том, что *звезды образуются в результате сгущения, или конденсации, облаков космического газа и пыли.*

Какая из этих гипотез более справедлива – покажут будущие исследования. Но важно отметить одно весьма существенное обстоятельство: и гипотеза конденсации, и

гипотеза распада исходят из предположения о том, что звездная форма материи образуется из объектов хотя и иной физической природы, но также вполне материальных. В одном случае это рассеянные газ и пыль, в другом – сверхплотные сгустки дозвездного вещества.

Если идея академика Амбарцумяна о дозвездной материи пока носит гипотетический характер, то обнаруженную им нестационарность космических объектов и их систем можно считать доказанной. В частности, изучение многочисленных скоплений галактик показало, что неустойчивые системы есть и в мире галактик. Эти скопления, подобно звездным ассоциациям, находятся в состоянии быстрого расширения и распада. Создается впечатление, что в нашу эпоху не только звезды, но и, по-видимому, галактики образуются из сгустков дозвездной материи.

Несколько лет назад в результате радиоастрономических наблюдений было обнаружено, что из ядра нашей Галактики происходит непрерывное истечение водорода. За год выбрасывается масса водорода, примерно в полтора раза превосходящая массу Солнца. Но наша Галактика существует около 15–17 миллиардов лет. Значит, за это время из ее ядра было выброшено 25 миллиардов солнечных масс. И есть основания предполагать, что в ту эпоху, когда наша Галактика была молода и богата энергией, этот процесс шел гораздо более бурно.

На подобную мысль наводят явления, наблюдаемые в ядрах некоторых других галактик.

Так, в 1963 г. американский астрофизик А. Сэндедж завершил работу по изучению движения газа в сравнительно близкой к нам галактике М-82. Ученый пришел к выводу: характер этого движения указывает на то, что приблизительно полтора миллиона лет назад из ядра галактики М-82 произошел выброс газовых масс, в миллион с лишним раз превосходящих массу Солнца. Согласно подсчетам, этот взрыв был эквивалентен взрыву термоядерного заряда с массой, равной массе 15 тысяч солнц.

Многочисленные факты такого рода не оставляют сомнений в том, что *ядра галактик играют чрезвычайно важную роль в развитии звездных систем и их составных частей.* Не исключена возможность, что они являются своеобразными

центрами формирования космических тел. Вероятно, здесь происходит переход материи из одной формы в другую. Но такие переходы должны сопровождаться преобразованиями огромных количеств энергии. Поэтому можно предположить, что галактические ядра –могучие аккумуляторы энергии, способные выделять ее при определенных условиях. Весьма вероятно, что в этом случае мы столкнулись с еще неизвестным науке видом энергии, изучение которого в дальнейшем сможет пролить свет на «скрытые пружины» многих космических процессов.

В частности, активные процессы, происходящие в ядрах некоторых галактик, видимо, являются основными поставщиками энергии, обеспечивающей интенсивное радиоизлучение многих звездных островов.

Нельзя не сказать еще об одном знаменательном открытии в космосе. В 1963 г. на очень больших расстояниях от нашей Галактики, на границах наблюдаемой Вселенной, были обнаружены удивительные объекты, получившие впоследствии название *квазаров.* При сравнительно небольших размерах (поперечники их составляют около нескольких световых недель или месяцев) квазары выделяют колоссальную энергию, примерно в 100 раз превосходящую энергию излучения самых гигантских галактик, состоящих из десятков и сотен миллиардов звезд.

К числу необычных объектов Вселенной относятся и так называемые *пульсары* – источники периодических радиоимпульсов, следующих друг за другом со строгой периодичностью, которая может соперничать со специально созданными в лабораториях атомными и молекулярными эталонами времени. Какова природа пульсара? В ответе на этот вопрос пока нет единого мнения. Часть ученых склоняется к мысли, что источником «пульсирования», вероятнее всего, являются вращающиеся нейтронные звезды.

До недавнего времени астрономы считали, что окружающая нас Вселенная населена звездами, туманностями и планетами. Предполагалось, что именно из этих объектов состоит каждая галактика. Однако в последнее время в ходе астрономических наблюдений мы столкнулись с явлениями совершенно нового типа – квазарами и ядрами галактик. Таким образом, впервые за 3 тысячи лет астрономы начали исследовать принципиально новые объекты, и не исключена возможность, что эти

исследования могут привести к открытию новых физических законов.

Каково же место необычных объектов Вселенной в ряду других космических объектов и явлений? Что это – своеобразные исключения или закономерные этапы развития материи?

Сравним две галактики. Одна – спиральная – излучает энергию главным образом в виде световых лучей, другая – неправильной формы и с очень мощным радиоизлучением. Существует ли между ними какая-либо родственная связь?

Тщательное сопоставление радиогалактик с обычными показало, что по своему строению и оптическим свойствам они не представляют собой ничего исключительного. Для любой радиогалактики можно найти похожую на нее «нормальную» галактику, которая отличается только отсутствием радиоизлучения. Это, видимо, говорит о том, что способность излучать мощные потоки радиоволн возникает лишь на некоторой стадии эволюции галактик того или иного типа. Следовательно, интенсивное радиоизлучение – своеобразное «возрастное» явление, которое характерно только для определенного этапа в развитии звездных систем.

Еще сравнительно недавно в астрономии господствовали эволюционные представления, которые являлись прямым продолжением идей классической физики. Развитие рассматривалось как медленный и плавный процесс перехода от одного стационарного состояния к другому. Считалось, что звезды постепенно рассеивают свое вещество, и оно накапливается в виде гигантских туманностей. Туманности снова сгущаются в звезды и т.д. Однако новые объекты свидетельствуют о том, что существенное значение для развития материи в наблюдаемой области Вселенной, видимо, имеют нестационарные, в частности взрывные, процессы.

Можно предполагать, что нестационарные явления представляют собой своеобразные «поворотные пункты» в развитии космических объектов, где совершаются переходы материи из одного качественного состояния в другое, возникают новые небесные тела.

В какой же связи находятся нестационарные, в частности взрывные, процессы с расширением Метагалактики?

Согласно гипотезе В.А. Амбарцумяна, которая находит все больше подтверждений в астрономических наблюдениях, не исключена возможность, что исходным пунктом развития космических объектов являются изолированные сверхмассивные компактные дозвездные тела. Они в определенные моменты своей эволюции переходят в активное состояние и испускают огромные количества энергии. Весьма вероятно, что эти гипотетические дозвездные тела представляют собой сгустки первоначального сверхплотного вещества Метагалактики, которые по тем или иным причинам на протяжении определенного времени находились в устойчивом состоянии.

Разумеется, вопрос о возникновении различных космических объектов и физической природе нестационарных явлений в космосе еще окончательно не решен. Над решением его астрономам придется еще немало поработать. В частности, одна из самых животрепещущих проблем современной физики и астрофизики состоит в том, чтобы выяснить природу дозвездной материи (если она существует), а также установить, в каком физическом состоянии находилось вещество до начала расширения Метагалактики.

Несмотря на это, уже сейчас ясно, что и первоначальный плазменный сгусток, и то, из чего он образовался, были особыми формами существования материи. Некоторые ученые считают, что первоначальный сгусток возник из вакуума. Вакуум, который физика XIX столетия считала пустотой, в действительности представляет собой своеобразную форму материи, способную при определенных условиях «рождать» вещественные частицы без нарушения закона сохранения материи и движения.

И еще один очень интересный вопрос, связанный с изучением Вселенной, – *геометрические свойства пространства,* его *конечность* или *бесконечность.* Эту проблему пытались решить еще великие философы древности. Они исходили, казалось бы, из сравнительно простых и на первый взгляд неопровержимых логических соображений.

Представим себе, говорили они, что у Вселенной есть край, и человек достиг этого края. Однако стоит ему только вытянуть руку, и она окажется за границей Вселенной. Тем самым рамки мира раздвигаются еще на некоторое расстояние. Тогда можно

будет приблизиться к новой границе и повторить ту же операцию еще раз. И так без конца. Значит, Вселенная не может иметь границ. «Нет никакого конца ни с одной стороны у Вселенной, ибо иначе края непременно она бы имела»,– писал римский философ-материалист Лукреций Кар (I в. до н.э.) в своей поэме «О природе вещей».

И действительно, если необычайно трудно, почти невозможно представить себе пространство, которое в любом направлении простирается безгранично, то еще труднее представить себе обратное – что у Вселенной где-то существует край, есть предел, граница. Ведь в таком случае действительно возникает вполне естественный вопрос: а что находится дальше?

Однако весь опыт познания природы убедительно доказывает, что «наглядность» – весьма ненадежный советчик при решении научных вопросов. На протяжении истории науки представления о геометрических свойствах пространства менялись не раз. Аристотель и Птолемей ограничивали Вселенную «сферой неподвижных звезд», классическая физика Ньютона, наоборот, приходила к выводу о бесконечности Вселенной. И лишь с возникновением теории относительности А. Эйнштейна появилась возможность более глубоко разобраться в существе этой проблемы. Если физика Ньютона рассматривала пространство как простое вместилище небесных тел, то Л. Эйнштейну удалось вскрыть тесную связь между геометрией пространства и материей.

...Рассказывают, что однажды какой-то газетный репортер обратился к Эйнштейну с просьбой изложить суть теории относительности в одной фразе и притом таким образом, чтобы это было понятно широкой публике. Подумав несколько секунд, ученый ответил: «Раньше полагали, что если бы из Вселенной исчезла вся материя, то пространство и время сохранились бы; теория относительности утверждает, что вместе с материей исчезли бы также пространство и время».

Любое тело не просто находится в пространстве, но определяет его геометрические свойства. Вблизи тел пространство искривляется. Благодаря этому лучи света распространяются во Вселенной не по прямым, а по изогнутым линиям. В повседневной жизни такую особенность мы практически не ощущаем, поскольку нам обычно приходится

иметь дело со сравнительно небольшими расстояниями. Однако при космических масштабах искривленность пространства приобретает существенное значение.

Таким образом, пространство, в котором мы живем, искривлено. А в искривленном мире «неограниченность» и «бесконечность» – не одно и то же. Оказывается, неограниченное пространство, т.е. пространство, не имеющее «края», границы, в то же время может быть конечным, как бы замкнутым в себе. В качестве примера можно привести поверхность шара. Площадь этой поверхности всегда имеет конечную величину. В то же время, продвигаясь по ней, мы никогда не достигнем ее границы. Следовательно, она неограниченна.

Таким образом, в принципе возможен случай, когда пространство неограниченно (т.е. не имеет предела, границы) и в то же время конечно (т.е. объем его выражается конечным числом).

Что касается пространства Вселенной, то его неограниченность не вызывает сомнения. Мир – это материя, а материя не может иметь границ в том смысле, что за материальным миром может располагаться нечто нематериальное. И это, разумеется, принципиальный философский вопрос – вопрос о материальном единстве мира. А если говорить о бесконечности или конечности той области материального мира, в которой мы живем, – Метагалактики (астрономы часто называют ее «наблюдаемой», или «астрономической» Вселенной), то в этом случае проблема бесконечности приобретает уже не философский, а чисто естественно-научный характер.

Изучая Вселенную, астрономы на основе данных наблюдений строят все более сложные и все более точные модели, способные описать и объяснить все большее число космических явлений. Однако любая такая теоретическая модель – это не сама Вселенная, а только ее приближенное описание, которое по мере развития науки становится все более глубоким и все более близким к реальной действительности.

Современные средства астрономических наблюдений – мощные телескопы и радиотелескопы – охватывают огромную область пространства радиусом около 12 миллиардов световых лет. Как мы уже отмечали, до одной из ближайших к нам

галактик – туманности Андромеды – световой луч бежит 2 миллиона лет. А ведь огромный путь от Солнца до окраинной планеты Солнечной системы – Плутона – свет преодолевает всего за пять с половиной часов. Таковы скромные размеры планетной семьи Солнца на фоне гигантских масштабов Метагалактики.

Но и «солнечная семья» – очень сложная система со своими законами движения, со своими еще не раскрытыми тайнами. О том, что она собой представляет, что о ней известно людям, о последних данных, полученных в результате ее изучения, мы расскажем далее.

Теория, рассматривающая физические процессы, происходящие на ранних стадиях расширения Вселенной, начиная с первой секунды после «начала», называется теорией «горячей Вселенной». Согласно этой теории ранняя Вселенная напоминала гигантский ускоритель «элементарных частиц», в котором, как считают большинство исследователей космоса, Вселенная была не только очень горячей, но и очень плотной. Так, расчеты показывают, что в момент времени $t = 10^{-35}$ с до начала Большого взрыва при температуре $T = 10^{26}$ К плотность вещества была около 10^{17} кг/м^3, а плотность вакуума – 10^{77} кг/м^3 (этот вакуум называют «ложным»). Современная физика достаточно хорошо представляет состояние вещества при очень высоких температурах и давлениях. Эти представления опираются на хорошо разработанную теорию высокотемпературной плазмы и подтверждены экспериментами в ускорителях заряженных частиц. Температура вещества есть мера средней кинетической энергии частиц. Так, температура 10^{10} К соответствует энергии частиц 1 МэВ (1 эВ = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж). Современные ускорители позволяют исследовать частицы с энергиями порядка 10^{11} эВ, что соответствует средней энергии частиц в веществе при температуре 10^{15} К. Зная температуру можно рассчитать момент времени, которому соответствует эта температура с начала расширения по формуле:

$T = \dfrac{10^{-10}}{\sqrt{t}}$, где время выражается в сек, температура в К.

Зная время события можно рассчитать плотность вещества при этой температуре:

$\rho = \frac{5 10^{8}}{t^{2}}$, плотность измеряется в кг/м^3,

Началом работы этого гигантского ускорителя был Большой взрыв. Этот термин часто используют космологи. Наблюдаемый разлёт галактик – следствие Большого взрыва. Это был астрономический взрыв, качественно отличающийся от каких-либо химических взрывов. Главное отличие заключается в том, что химический взрыв обусловлен разностью давлений, которая существует между давлением во взрывающемся веществе и давлением в окружающей среде. Эта разность давлений создаёт силу, которая придаёт ускорение частицам заряда взрывающегося вещества. В астрономическом взрыве подобной разности давлений не существует. В отличие от химического, астрономический взрыв не начался из определённого центра (и потом стал распространяться на всё большие области пространства), а произошёл сразу во всём существующем тогда пространстве. Это трудно себе представить, так как «всё пространство» могло быть или конечным (в случае замкнутого мира), или бесконечным (в случае открытого мира). В ходе Большого взрыва беспрерывно и стремительно сменяли друг друга процессы рождения и гибели (аннигиляция) разнообразных частиц. Эти процессы во многом предопределили всю последующую эволюцию Вселенной и создали необходимые предпосылки для возникновения и развития жизни.

Развитие процессов после взрыва разделено на несколько периодов (каждый период получил название эра). Каждая эра имеет своё название: эра адронов, эра лептонов, эра фотонов (или эра радиации) и эра вещества.

Эра адронов длилась примерно от $t = 10^{-6}$ *до* $t = 10^{-4}$ *сек*. О том, что творилось в эту эру, можно судить по температуре ($T = 10^{12}$ К) и плотности (порядка 10^{17} кг/м^3). Атомов химических элементов, конечно, не было. Но уже существовали нуклоны (протоны и нейтроны), мюоны, электроны, нейтрино различных видов (электронные, мюонные, тау-нейтрино), а также античастицы всех частиц (антипротоны, антинейтроны, антимюоны, позитроны, антинейтрино соответствующих типов). Существовало и электромагнитное излучение (фотоны), которое находилось в термодинамическом равновесии с веществом.

Плотность такова, что нейтрино, способные проникать без рассеяния через свинцовые бруски, существуют вместе со всеми частицами и фотонами благодаря быстрым столкновениям с ними и друг с другом. Температура такова, что частицы так же, как фотоны и нейтрино ведут себя просто как много разных сортов излучения. Плотность энергии этих излучений колоссальна: эквивалентна плотности массы в 3,8 миллиарда раз больше плотности воды при нормальных условиях (подразумевается, что данная энергия перешла в массу согласно формуле Эйнштейна $E = mc^2$). Число частиц и античастиц вещества в единице объёма равно числу находившихся там фотонов. Главным процессом адронной эры был процесс аннигиляции нуклонов и антинуклонов. Нуклоны и антинуклоны объединены под названием адроны (от греческого hadros – большой, сильный). Если бы в единице объёма содержалось одинаковое количество нуклонов и антинуклонов, то в результате аннигиляции все эти частицы исчезли бы, и мир стал бы совсем иным. Но нуклонов всегда несколько больше, чем антинуклонов.

Эра лептонов длилась примерно от $t = 10^{-4}$ до $t = 10$ сек. К концу этой эры температура снизилась до $1O^9$ К, а плотность – до 10^7 кг/м ^{3}. Лептоны – класс частиц, которые не участвуют в сильном физическом взаимодействии. Это преимущественно лёгкие частицы (от греческого слова leptos – тонкий, лёгкий): электроны, некоторые мюоны, нейтрино и соответствующие античастицы. В начале лептонной эры аннигилировали мюоны и антимюонные пары, а затем – электроны с позитронами. В результате качественно изменился состав плазмы и приобрели самостоятельность нейтрино (среда стала прозрачной для них). Начиная с этого времени нейтрино перестали участвовать во взаимодействиях и при дальнейшем расширении Вселенной сохранили свою самостоятельность. Это реликтовое нейтринное излучение, в принципе, можно обнаружить, но это пока не реализовано вследствие высокой неуловимости нейтрино. Кроме того, в лептонную эру произошло перераспределение энергии: после аннигиляции тяжёлых частиц их энергия перешла к более лёгким и тратилась на нагрев излучения. После аннигиляции лёгких частиц освободившаяся энергия стала расходоваться в основном на повышение температуры излучения. Энергия, выделившаяся при аннигиляции электронов

и позитронов, дала фотонам энергию на 35% больше, чем нейтрино.

В конце лептонной эры – начале эры радиации начал происходить синтез ядер гелия и дейтерия (тяжёлого водорода). Эти ядра образовывались путём слияния протонов и нейтронов. Причём уже примерно через 100 сек после начала расширения образовалось почти 25% ядер гелия (по массе). 75% состава плазмы – ядра водорода. Это подтверждается и современными данными о составе звёзд. Так, Солнце и другие звёзды начали свою жизнь, имея в своем составе большую часть водорода и лишь 20–30% гелия. Астрономами обнаружено также, что распространённость гелия в Галактике невелика и не меняется от места к месту так же сильно, как меняется распространённость более тяжёлых элементов. Это ещё раз подтверждает то, что тяжёлые элементы образовались в звёздах, а гелий – в ранней Вселенной. Эра радиации длилась примерно от t = 10 с до 300 тысяч лет. К концу этой эры плотность стала 10^{-18} кг/м^3, а температура уменьшилась до 3000 К. Одно из важнейших событий произошло в конце этой эры. Его обычно называют «отрывом» излучения от вещества. Температура уменьшилась, а следовательно, энергия излучения уменьшилась. Теперь кванты излучения уже не могли ионизовывать атомы водорода. Создались условия, при которых присоединение электронов к протонам (рекомбинация) стало преобладать над отрывом электронов от протонов (ионизация). В результате среда стала прозрачной для излучения. Отсюда поведение вещества и поведение излучения далее будут отличаться. В расширяющейся Вселенной излучение теряет свою энергию быстрее, чем вещество. Но температура излучения уменьшается меньше, чем температура вещества. Но времени прошло много, и поэтому, если считать, что в «эпоху отрыва» излучения от вещества T = 3000–4000 К, то сейчас Вселенная должна быть заполнена излучением с температурой 3–4 К. Это тоже подтверждено на практике: температура фона космического микроволнового излучения составляет около 3 К.

Эра вещества (или послерекомбинационная эра) длится до сих пор. После «отрыва» излучения и вещества наша Вселенная довольно спокойно расширялась. Главные события, происходившие в ней, связаны с образованием галактик, звёзд,

планет. К нашему времени часть звёзд и планет успела завершить свой жизненный путь, другая часть вступила в полосу расцвета, а третья – в стадию образования. Во Вселенной в наше время встречаются звёзды разных поколений.

Возникновение галактик и звезд

Представление об открытых системах, введенное неклассической термодинамикой, явилось основой для утверждения в современном естествознании эволюционного взгляда на мир. Хотя отдельные эволюционные теории появились в конкретных науках еще в прошлом веке (теория возникновения Солнечной системы Канта–Лапласа и эволюционная теория Дарвина), тем не менее, никакой глобальной эволюционной теории развития Вселенной до нашего века не существовало. Это и неудивительно, поскольку классическое естествознание ориентировалось преимущественно на изучение не динамики систем, а их статики. Такая тенденция наиболее рельефно была представлена атомистической концепцией классической физики как лидера тогдашнего естествознания. Атомистический взгляд на представление состоит в том, что свойства и законы движения различных природных систем могут быть сведены к свойствам тех мельчайших частиц материи, из которых они состоят. Вначале такими простейшими частицами считались молекулы и атомы, затем элементарные частицы, а в настоящее время – кварки.

Бесспорно, атомистический подход имеет большое значение для объяснения явлений природы, но он обращает главное внимание на строение и структуру различных систем, а не на их возникновение и развитие. В последние годы получают распространение также *системный и эволюционный взгляды,* которые обращают внимание скорее на характер взаимодействия элементов разных систем, чем на анализ свойств тех частиц, которые рассматривались в качестве своего рода последних кирпичиков мироздания. Благодаря широкому распространению системных идей, а в недавнее время и представлений о самоорганизации открытых систем, сейчас все настойчивее выдвигаются различные гипотезы и модели возникновения и эволюции Вселенной. Они усиленно

обсуждаются в рамках современной космологии – науки о Вселенной как едином целом.

Модели Вселенной, как и любые другие, строятся на основе тех теоретических представлений, которые существуют в данное время в космологии. Современная космология возникла после появления общей теории относительности, и поэтому ее в отличие от классической называют *релятивистской.* Эмпирической базой для нее послужили открытия *внегалактической* астрономии, важнейшим из которых было обнаружение явления «разбегания» галактик. В 1929 г. американский астроном Э.П. Хаббл (1889–1953) установил, что свет, идущий от далеких галактик, смещается в сторону красного конца спектра. Это явление, получившее название *красного смещения,* согласно принципу Допплера свидетельствовало об удалении («разбегании») галактик от наблюдателя.

Поскольку релятивистская космология сформировалась на основе идей и принципов общей теории относительности, то на первом этапе она уделяла главное внимание геометрии Вселенной и, в частности, кривизне четырехмерного пространства-времени. Как мы уже указывали выше, новый этап ее развития был связан с исследованиями русского ученого Александра Александровича Фридмана (1888–1925*),* которому *удалось* впервые теоретически доказать, что Вселенная, заполненная тяготеющим веществом, не может быть стационарной, а должна периодически *расширяться или сжиматься.* Этот принципиально новый результат нашел свое подтверждение после обнаружения красного смещения, которое стало трактоваться как явление «разбегания» галактик. В связи с этим на первый план выдвигаются проблемы исследования расширения Вселенной и определения ее возраста по продолжительности этого расширения. Наконец, начало третьего периода развития космологии связано с работами известного американского физика Г.А. Гамова (1904–1968), русского по происхождению. В них исследуются физические процессы, происходившие на разных стадиях расширяющейся Вселенной.

Все эти особенности развития космологии нашли отражение в различных моделях Вселенной. Общим для них является представление о нестационарном изотропном и *однородном* характере ее моделей. *Нестационарность* означает, что

Вселенная не может находиться в статическом, неизменном состоянии, а должна либо расширяться, либо сжиматься. «Разбегание» галактик, по-видимому, свидетельствует о ее расширении, хотя существуют модели, в которых наблюдаемое в настоящее время расширение рассматривается как одна из фаз так называемой пульсирующей Вселенной, когда вслед за расширением происходит ее сжатие.

Изотропность указывает на то, что во Вселенной не существует каких-либо выделенных точек, и свойства не зависят от направления. *Однородность* характеризует распределение в среднем вещества во Вселенной. Вышеприведенные утверждения часто называют космологическими постулатами. К ним добавляют также правдоподобное требование об отсутствии во Вселенной сил, препятствующих силам тяготения. При таких предположениях модели оказываются наиболее простыми. В их основе лежат уравнения общей теории относительности Эйнштейна, а также представления о кривизне пространства–времени и связи этой кривизны с плотностью массы вещества. В зависимости от кривизны пространства различают: открытую модель, в которой кривизна отрицательна или равна нулю, замкнутую модель с положительной кривизной.

Расстояние между скоплениями галактик со временем непрерывно увеличиваются, что соответствует бесконечной Вселенной. В замкнутых моделях Вселенная оказывается конечной, но столь же неограниченной, так как, двигаясь по ней, нельзя достичь каких-либо границ.

Независимо от того, рассматриваются ли открытые или замкнутые модели Вселенной, все ученые сходятся на том, что первоначально Вселенная находилась в условиях, которые трудно вообразить на Земле. Эти условия характеризуются наличием высокой температуры и давления в точке сингулярности, в которой была сосредоточена материя. Такое допущение вполне согласуется с установлением расширения Вселенной, которое могло начаться с некоторого момента, когда она находилась в очень горячем состоянии и постепенно охлаждалась**.** Такая модель «горячей» Вселенной впервые была выдвинута Г.А. Га-мовым и впоследствии названа стандартной.

Стандартная модель эволюции Вселенной

Эта модель предполагает что начальная температура внутри сингулярности превышала 10^{13} градусов по абсолютной шкале Кельвина. Плотность материи равнялась приблизительно 10^{93} г/см^3. В подобном состоянии неизбежно должен был произойти Большой взрыв, с которым связывают начало эволюции в стандартной модели Вселенной, называемой поэтому также моделью Большого взрыва. Предполагаемые процессы, проходившие после Большого взрыва, описаны выше. Предполагается, что такой взрыв произошел примерно 20 миллиардов лет назад и сопровождался сначала быстрым, а потом более умеренным расширением и соответственно постепенным охлаждением Вселенной. По степени этого расширения ученые судят о состоянии материи на разных стадиях ее эволюции. Полагают, например, что через 0,01 с после взрыва плотность материи с невообразимо большой величины должна была упасть до 10^{10} г/см^3. В этих условиях в расширяющейся Вселенной, по-видимому, должны были существовать фотоны, электроны, позитроны, нейтрино и антинейтрино, а также небольшое количество нуклонов (протонов и нейтронов). При этом могли происходить непрерывные превращения пар *электрон + позитрон* в *фотоны* и обратно – фотоны в пару *электрон + позитрон.* Но уже через три минуты после взрыва из нуклонов образуется смесь легких ядер: 2/3 водорода и 1/3 гелия. Остальные химические элементы образовались из этого дозвездного вещества в результате ядерных реакций. В момент, когда возникли нейтральные атомы водорода и гелия, вещество сделалось прозрачным для фотонов, и они стали излучаться в мировое пространство. В настоящее время такой остаточный процесс наблюдается в виде *реликтового излучения.* Это явление находится в полном соответствии с моделью «горячей Вселенной». Оно сохранилось до наших дней и наблюдается именно как *реликт,* или остаток, от той весьма отдаленной эпохи образования нейтральных атомов водорода и гелия.

Известный американский астроном К. Саган построил наглядную модель эволюции Вселенной, в которой космический год равен 15 миллиардам земных лет, а 1 секунда – 500 годам. Тогда в земных единицах времени эволюция представится так:

Большой взрыв	1 января 0 час. 0 мин
Образование галактик	10 января
Образование Солнечной системы	9 сентября
Образование Земли	14 сентября
Возникновение жизни на Земле	25 сентября
Океанский планктон	18 декабря
Первые рыбы	19 декабря
Первые динозавры	24 декабря
Первые млекопитающие	26 декабря
Первые приматы	29 декабря
Первые гоминиды	30 декабря
Первые люди	31 декабря примерно в 22 часа 30 мин.

По мере расширения и охлаждения во Вселенной происходили процессы разрушения существовавших раньше симметрий и возникновения на этой основе новых структур.

Тот факт, что любая эволюция сопровождается разрушением принципа положительной обратной связи, согласно которому неравновесность и неустойчивость, возникающие в открытой системе, вследствие взаимодействия со средой со временем не ликвидируются, а наоборот, усиливаются. Это приводит в конечном счете к разрушению прежних симметрий и возникновению новой структуры. Очевидно, что о первоначальной эволюции Вселенной мы можем судить только на основании тех результатов, которые известны нам сегодня. Поэтому любая модель, которая строится для объяснения современного ее состояния, должна учитывать эти факты. Другими словами, о ранней эволюции Вселенной мы можем делать заключения только путем экстраполяции, или распространения известного на неизвестное, и выдвижения гипотез о неизвестных этапах ее развития.

Предполагают, что одним из первых результатов расширения и, соответственно, охлаждения Вселенной было нарушение симметрии между веществом и антивеществом, а именно такими разноименно заряженными материальными частицами, как электрон, несущий отрицательный заряд e^-, и позитрон с противоположным положительным зарядом e^+. Их взаимодействие при столкновении приводит к образованию двух фотонов.

Как возникло подобное нарушение симметрии, осталось

неизвестным, приходится только догадываться. Неясно также то, каким способом антивещество оказалось отделенным от вещества, и что удерживает их от аннигиляции, или уничтожения. По-видимому, здесь мы встречаемся с исторической реконструкцией. Так как частицы вещества и антивещества при взаимодействии аннигилируют, т.е. $e^- + e^+ \rightarrow 2\gamma$, то предполагают, что в далеком прошлом наш вещественный мир каким-то образом оказался изолированным от мира антивещественного. Иначе он не мог бы существовать вследствие процессов аннигиляции вещества и антивещества. В общих чертах формирование Вселенной, согласно стандартной модели, представляется следующим образом. Когда температура Вселенной после взрыва упала до 6 миллиардов градусов по Кельвину, первые 8 с после взрыва там существовала в основном смесь электронов и позитронов. Пока эта смесь находилась в тепловом равновесии, количество частиц разного рода оставалось примерно одинаковым. Между частицами происходили непрерывные столкновения, в результате чего возникали пары фотонов, а из столкновения последних –электрон и позитрон.

На этой стадии происходило непрерывное превращение вещества в излучение и, наоборот, излучения в вещество. Вследствие этого между веществом и излучением сохранялась симметрия**.** Нарушение этой симметрии произошло после дальнейшего расширения Вселенной и соответственно понижения ее температуры. Именно на этой стадии возникли более тяжелые ядерные частицы – протоны и нейтроны. Самым главным результатом этой стадии микроэволюции нашей области Вселенной было образование крайне незначительного перевеса вещества над излучением, которое оценивается примерно как излишек одного протона или нейтрона на миллиард фотонов. Как раз из этого излишка в процессе дальнейшей эволюции возникло то огромное богатство и разнообразие материальных образований, явлений и форм, начиная от атомов, молекул, кристаллов, минералов и кончая разнообразными горными образованиями, планетами, звездами и звездными ассоциациями, галактиками и скоплениями галактик.

Конечно, в стандартной модели имеется еще много неясного и спорного, но она опирается на такой твердо

установленный факт, как смещение спектральных линий света, идущего от далеких галактик, который интерпретируется как удаление, или «разбегание», их от наблюдателя. Кроме того, эта гипотеза основывается на такой фундаментальной идее, как нарушение симметрий в процессе образования все новых и более сложных материальных структур и систем, которая лежит в фундаменте современной концепции системного подхода и синергетической самоорганизации. Этим, однако, не ограничивается связь синергетики со стандартной моделью Вселенной. Процессы микроэволюции Вселенной, продолжавшиеся не менее 10 миллиардов лет, привели к образованию молекул и тем самым явились предпосылкой для начала макроэволюции Вселенной, в результате которой возникли окружающие нас макротела, разнообразные их системы вплоть до галактических. Здесь существенное значение принадлежит различным *физическим взаимодействиям.* В настоящее время, как отмечалось выше, различают четыре типа физических взаимодействий. Непосредственно мы можем воспринимать два их типа:

– *гравитационные* взаимодействия, т.е. силы тяготения, которые действуют на все макротела и притом на достаточно больших расстояниях. Именно они, как хорошо известно, определяют движения планет, звезд, галактик и других космических систем;

– *электромагнитные силы,* которые играют решающую роль при образовании молекул, химических соединений, кристаллов и всех систем, которые занимают промежуточное положение между микромиром и мегамиром, состоящим из космических объектов и систем.

Остальные два типа физических взаимодействий (ядерные и слабые) непосредственно не воспринимаются человеком, но играют существенную роль при образовании разнообразных объектов микромира. Следует, впрочем, отметить, что приведенная характеристика четырех типов взаимодействий относится лишь к их современному состоянию. В ходе эволюции они соотносились иначе, а на первоначальном этапе, когда Вселенная была достаточно горячей, ядерные силы находились в симметрии с гравитационными, а силы электромагнитного взаимодействия – со слабыми взаимодействиями. Только вследствие нарушения симметрии между сильными ядерными и

гравитационными силами стало возможным образование небесных тел, галактик и других космических систем. В свою очередь, нарушение симметрии между электромагнитными силами и слабыми взаимодействиями привело к образованию огромного множества тел, структур и систем, которые составляют окружающий нас видимый мир. Таким образом, благодаря нарушению симметрии между разными типами физических взаимодействий стало возможно не только возникновение микро- и макрообъектов, но также последующая взаимосвязанная эволюция микроскопической и макроскопической ветвей развития.

Микроэволюция обеспечила условия для развертывания макроэволюции. Освобождение гравитационных сил, произошедшее вследствие разрушения их симметрии с ядерными силами примерно через 700 тысяч лет после взрыва, привело к образованию звезд, галактик, их скоплений и других космических систем. В свою очередь гравитационные и ударные волны способствовали возникновению и развитию ядерных реакций внутри звезд и ядер галактик и их скоплений. Следовательно, микро- и макроэволюции дополняли друг друга, вот почему они представляют собой две ветви единого процесса. Отсюда становится ясным, что возникновение и эволюция физических, химических, геологических и других систем неорганической природы прочно укладывается в рамки космической и земной эволюции. Однако наиболее важным для понимания места человека во Вселенной является возникновение жизни на Земле и социально-экономическая и культурно-историческая эволюция человечества.

Мировоззренческие проблемы космологической эволюции

Возникновение и развитие современной релятивистской космологии имеют большое мировоззренческое значение. Оно во многом изменило наши прежние представления о научной картине мира. Особенно радикальным было открытие так называемого красного смещения, свидетельствующего о расширении Вселенной. Этот факт нельзя было не учитывать при построении космологических моделей. Считать ли

Вселенную бесконечной или конечной – зависит от конкретных эмпирических исследований и прежде всего от определения плотности материи во Вселенной, что имеет решающее значение для оценки кривизны пространства–времени. Очевидно, что при нулевой или отрицательной кривизне модель должна быть открытой, при положительной – замкнутой. Однако оценка плотности распределения материи во Вселенной наталкивается на серьезные трудности, связанные с наличием так называемого скрытого (невидимого) вещества в виде темных облаков космической материи. Хотя никакого окончательного вывода о том, является ли Вселенная открытой или замкнутой, сделать пока еще нельзя, но многие свидетельства говорят, по-видимому, в пользу открытой бесконечной ее модели. Во всяком случае такая модель лучше согласуется с неограниченно расширяющейся Вселенной. Замкнутая же модель предполагает конец такого расширения и допущение ее последующего сжатия. Как мы уже отмечали выше, коренной недостаток такой модели состоит в том, что пока современная наука не располагает какими-либо фактами, подтверждающими подобное сжатие. К тому же сторонники замкнутой Вселенной признают, что эволюция Вселенной началась с Большого взрыва. Наконец, остается нерешенной и проблема оценки плотности распределения материи и связанной с ней величины кривизны пространства–времени.

Важной проблемой остается и оценка возраста Вселенной, который определяется по длительности ее расширения. Если бы расширение происходило с постоянной скоростью, равной в настоящее время *75* км/с, то время, истекшее с начала Большого взрыва, составило бы 13 миллиардов лет. Однако есть основания полагать, что расширение происходит с замедлением. Тогда возраст Вселенной будет меньше. С другой стороны, если допустить существование отталкивающих космологических сил, тогда возраст Вселенной будет больше. Значительные трудности связаны также с обоснованием первоначально «горячей» модели в сингулярной области, поскольку предполагаемые плотности и температуры никогда не наблюдали и не анализировали в современной астрофизике. Но развитие науки продолжается, и есть основания надеяться, что и эти труднейшие проблемы со временем будут разрешены. Главный же итог современных исследований состоит в том, что

они показали: Вселенная не находится в стационарном состоянии, она непрерывно изменяется вследствие понижения в ней температуры. Именно в результате такого процесса происходит эволюция материи, связанная с появлением новых и сложных структур.

В больших масштабах Метагалактику можно считать однородной и изотропной, но в масштабах меньших встречаются неоднородности в виде систем галактик и звёзд. Как же они могли возникнуть в однородной, изотропной и расширяющейся среде? Видимо, какие-то неоднородности и возмущения были и на ранней стадии образования Вселенной. В 1946 г. академик Е.М. Лившиц на основании общей теории относительности Эйнштейна рассмотрел вопрос о малых неоднородностях в однородной среде. Выяснилось, что неоднородности, возникшие в гравитационно неустойчивых средах, с течением времени растут. Скорость роста зависит от соотношения в ней вещества и излучения. В процессе эволюции «выжили» только крупномасштабные неоднородности. Их массы могли быть в 10^{13}–10^{14} раз больше массы Солнца и продолжали свой рост, достигая массы, сравнимой с массой крупных скоплений галактик. Такие массивные облака газа приобретают не сферическую форму, а становятся похожими на гигантские «блины». Это происходит вследствие беспрепятственного сжатия, которое неодинаково по разным направлениям. Кроме того, плавное сжатие на некотором этапе приобретает характер сверхзвуковой ударной волны: скорость падения газа в облаке превысила скорость теплового движения частиц, и образовались скачки давления, температуры и плотности. В разных частях расширяющейся Вселенной могли возникнуть разные «блины». Те, которые родились позже, имели меньшие массу, плотность, температуру. Продукты распада «блинов» тоже оказались разными: из одних «блинов» образовались скопления галактик, из других – небольшие группы галактик, из третьих – одиночные галактики. Ударные волны могли стать причиной вращения галактик. Взаимодействуя между собой, «блины» могут довольно естественно образовывать границы наблюдаемых ячеек крупномасштабной структуры Вселенной. Многие недостающие звенья картины воссоздания современной ячеистой структуры способны восполнить нейтрино, обладающие определённой массой покоя.

Предположения о существовании массы покоя у нейтрино высказывались неоднократно, и в конце 80-х гг. были сведения об обнаружении такого свойства нейтрино в СССР и США. Согласно теории Большого взрыва, нейтринные облака сформировались примерно через 300 лет после начала расширения, а обычное вещество стало переходить из плазменного состояния в состояние нейтрального газа примерно через миллион лет после начала расширения. Поэтому в формировании структуры обычного вещества большую роль сыграли нейтрино. Их можно назвать «тестом», на котором пеклись «блины». Когда обычное вещество стало собираться в центральных частях нейтринных облаков, проявилась ячеистая структура Вселенной.

Каждая галактика, возникшая из распавшихся «блинов», имела свой жизненный путь: в ней возникали шаровые звёздные скопления, звёзды разных поколений и т.д. Например, в нашей спиральной Галактике массивные звёзды первого поколения завершили свой жизненный путь и, взорвавшись, обогатили межзвёздную среду тяжёлыми элементами. Часть из них вошла в состав звёзд нового поколения. Звёзды последующих поколений, включая те, которые рождаются на наших глазах, формируются в обнаруженных недавно молекулярных облаках, богатых молекулами водорода, других веществ и межзвёздной пылью. Звёзды малых масс эволюционируют медленно, и поэтому многие из них дожили до наших дней.

Очень важна роль в строении и эволюции галактик молекулярных облаков. Частицы пыли в них способствуют образованию молекул (H_2, CO, ацетона $(CH_3)_2CO$, цианодекапентина $HC_{11}N$ и др.) и защищают их от разрушения ультрафиолетовым излучением горячих звёзд. Именно в молекулярных облаках рождаются различные группы молодых звёзд: ассоциации, рассеянные скопления и другие в зависимости от массы облака.

Молодым звездам с массой, близкой к массе Солнца, предстоит долгая жизнь – не менее 10 миллиардов лет. Звезды с массой в несколько десятков раз больше массы Солнца живут несколько миллионов лет, а звезды с массой в два раза меньше солнечной, могли бы спокойно жить до 100 миллиардов лет.

Звезда – это основная структурная единица мегамира. Галактики, Метагалактика, другие структуры космического

масштаба состоят из звезд. Известно много различных типов звезд. Как мы уже говорили выше, каждая звезда проходит различный эволюционный путь, переходя из одного типа в другой. Их можно разделить на две большие группы: обыкновенные звезды и компактные звезды. К компактным звездам относят белые карлики, нейтронные звезды, черные дыры. Их размеры лежат в пределах от нескольких километров до нескольких тысяч километров. Размеры нормальных звезд изменяются от 10^8 до 10^{11} м. Ближайшая к нам звезда Солнце. Солнце является источником жизни на Земле.

Масса Солнца составляет $2 \cdot 10^{30}$ кг, радиус – $7 \cdot 10^5$ км. Количество энергии, излучаемой Солнцем огромно. В секунду Солнце излучает $4 \cdot 10^{36}$ Дж энергии. На долю нашей планеты приходится лишь одна миллиардная часть этой энергии. За время существования жизни на Земле (около 3,5 млрд лет) Солнце излучило $4 \cdot 10^{43}$ Дж. Откуда же берется такое количество энергии? Какие процессы на нашем светиле обеспечивают такое постоянство свечения? Ведь если бы светимость Солнца уменьшилось за это время в несколько раз, жизни на земле не было бы. Поэтому, если Солнце и меняло свою светимость, то не более чем на несколько процентов.

В разное время источником энергии Солнца считали различные причины. Так, И. Ньютон и Ю. Майер считали, что источником энергии Солнца служит кинетическая энергия падающих на него метеоритов и комет. Г. Гельмгольц и У. Томпсон (лорд Кельвин) в конце XIX века предположили, что выделение энергии Солнцем обеспечивается его радиуса под действием его собственной гравитации. Астроном Дж. Джинс предположил, что источником энергии Солнца является радиоактивность. Джинс был близок к пониманию проблемы, также как и один из пионеров астрофизики А. Эддингтон, которые считали, что источником энергии Солнца является атомное ядро. В 1939 году Х.А. Бете построил количественную теорию, объясняющую ядерные процессы в звездах. Было установлено, что звезды – это гигантские природные термоядерные реакторы.

Термоядерные реакции – это реакции синтеза более тяжелых ядер из легких. Самая распространенная термоядерная реакция это реакция синтеза ядер гелия из ядр водорода:

$4^1H \rightarrow {}^4He + 2\nu + 2\,e^+ + 26$ МэВ.

Масса образовавшихся ядер гелия на 0,7% меньше суммарной массы четырех ядер водорода вследствие дефекта масс. Пользуясь формулой Эйнштейна $E = mc^2$ можно, правда достаточно грубо, оценить запас энергии в Солнце, предполагая, что оно все состоит из водорода, который целиком превратится в гелий:

$0{,}7M_c c^2 = 120 \cdot 10^{43}$ Дж.

Это в 30 раз больше, чем требуется для обогрева Земли в течение 3,5 млрд лет. Более точные расчеты показывают, что запаса термоядерного горючего в Солнце для обеспечения постоянного свечения может хватить на 10 млрд лет.

Источники энергии звезд

Рассмотрим произвольный элемент вещества в звезде, находящийся на расстоянии R от центра звезды. На этот элемент действуют две противоположно направленные силы: сила гравитации, стремящаяся «утопить» элемент в звезде, и сила давления внутренних слоев звезды, старающаяся вытолкнуть элемент на поверхность. Для элемента, находящегося в равновесии, очевидно, выполняется равенство

$$F_{грав}(R) = F_{давл}(R).$$

Равновесие нарушается, если по какой-либо причине одна из сил превалирует над другой. Предположим, что в центре звезды иссякло термоядерное горючее. Перед нами объект, теряющий энергию с поверхности, причем эта потеря компенсируется притоком энергии за счет термоядерных реакций. Тогда в центральных частях звезды упадет давление, и вся звезда под действием сил гравитации начнет сжиматься к центру. При этом температура в центральной части звезды будет повышаться. Удивительное и парадоксальное свойство звезды: она теряет энергию на излучение с поверхности и, в тоже время, сжимаясь, разогревается внутри. *Теряя энергию, звезда нагревается.* Такие системы известны и в физике. Они называются системами с отрицательной теплоемкостью. Это свойство звезды играет решающую роль а процессе ее эволюции. Благодаря этому свойству весь ход эволюции звезды направлен в сторону повышения температуры ее недр.

Зависимость плотности, давления и температуры от радиуса (расстояния до центра) звезды называется моделью звезды. Расчеты модели звезды (решение уравнения обычно проводятся с помощью ЭВМ. По результатам расчетов строят графики графики распределения температуры и плотности для звезды. Из этих графиков становится видно, что температура Т возрастает при приближении к центру звезды. Так, если на поверхности Солнца Т= 6000 К, то в центре T_c=15 млн К. Давление и плотность в центре Солнца также достигают чудовищных значений: $P_c=4\times10^{11}$ атм и $\rho_c=1{,}4\times10^5$ кг/м^3. Важно также отметить, что для звезд большей массы значения $T_{c,}$, P_c, и ρ_c еще выше.

По закону Кулона, чем больше заряды ядер, тем большую силу отталкивания им надо преодолеть, чтобы произошло их слияние (синтез). Для того, чтобы произошла термоядерная реакция, ядра должны иметь большую относительную скорость, т.е. обладать большим запасом кинетической энергии. Насколько большим? Все хорошо знают физическую величину, которая является мерой кинетической энергии частиц в газе, - это температура.

Каждая термоядерная реакция протекает при определенной температуре. И чем сложнее ядра, участвующие в реакции, тем выше значение этой температуры. Например, реакция слияния атомов ^{1}H идет при *T*= 15 млн К, а для слияния ядер ^{6}C требуется значительно более высокая: *T*=800 млн К. Именно температура определяет скорость протекания тех или иных термоядерных реакций в звезде. Даже небольшое изменение температуры вызывает заметное изменение темпа термоядерной реакции. Увеличение температуры ускоряет ход реакции, а уменьшение – замедляет.

Каждая звезда за время своей жизни проходит определенный эволюционный путь. Этот путь состоит из нескольких этапов. Наше Солнце, видимо, прошло и еще пройдет эти этапы на своем жизненном пути.

Первый этап эволюции звезды – сжатие газопылевого облака, которое начинается в результате какого-либо внешнего импульса. На первых порах, пока облако еще прозрачно, увеличение плотности не приводит к возрастанию температуры. Избыток тепловой энергии, возникающий при стремительном увеличении плотности, превращается в электромагнитное

излучение, которое беспрепятственно выходит в открытый космос.

Рано или поздно, наступает такой момент в эволюции звезды, когда плотность газа возрастает до такой степени, что кванты электромагнитного излучения начинают «застревать» в веществе протозвезды, передавая свою энергию молекулам и пылинкам. Путь, по которому энергия выходила из недр протозвезды, теперь блокирован непрозрачными слоями вещества. В результате температура внутри протозвезды начинает стремительно повышаться. Протозвезда медленно сжимается и разогревается. Когда температура в ее недрах достигает значения около 6 млн К, начинаются термоядерные реакции превращения водорода в гелий. Однако даже после начала термоядерных реакций сжатие еще некоторое время продолжается. Оно прекращается только тогда, когда энергия термоядерных реакций уравнивает силу давления с силой гравитации. При этом, мощность «термоядерного реактора» внутри звезды становится равной мощности излучения звезды.

После прекращения сжатия звезда вступает на главную последовательность. Этап горения водорода в недрах звезды – самый длительный в эволюции звезды. Причем, чем меньше масса звезды, тем дольше он длится. Для таких звезд, как наше Солнце, этот этап продолжается, по-видимому, около 10 млрд. лет.

Стадия главной последовательности заканчивается после того, как выгорает весь водород в центральном «термоядерном котле». Теперь внутри звезды находится гелиевое ядро. Термоядерное «горючее» в «топке» кончилось, и силы давления больше не препятствуют сжатию звезды. Звезда сжимается, а температура в центре растет. После этого этапа жизнь звезд типа нашего Солнца (астрономы считают такие звезды маломассивными) близится к финалу, а звездам с большой массой предстоит пройти еще много этапов эволюции.

Поскольку Солнце вызывает нашу вполне понятную заинтересованность, рассмотрим конечные стадии его эволюции. Примерно через 5 млрд лет в ядре Солнца весь водород превратится в гелий. К этому времени в окрестностях ядра, где химический состав не претерпел изменений, начнутся термоядерные реакции горения водорода. Этот этап называют горением слоевого источника.

Горение слоевого источника резко повышает давление внешних слоев звезды. Получается странная вещь: в центре звезды идет сжатие, а во внешних слоях $F_{грав}(R) < F_{давл}(R)$, и потому они расширяются. Снаружи будет казаться, что звезда разбухает до огромных размеров. Это последнее, что можно было бы увидеть с нашей обреченной планеты. Цвет Солнца станет насыщенно-красным, а ее размеры будут таковы, что орбита Земли окажется внутри раскаленной плазмы звездной атмосферы. Мы знаем много таких звезд и называем их красными гигантами. Фаза гиганта длится 100 млн лет и заканчивается медленным и плавным отделением внешней оболочки от гелиевого ядра.

Дальнейшая судьба Солнца также известна. Внешние слои, получившие название «планетарной туманности», расширятся еще сильней и, наконец, совсем растают в бесконечных просторах Космоса. А гелиевое ядро – «белый карлик» – будет остывать, превратится в коричневый, а затем и вовсе потухнет («черный карлик»). Такая черная головешка будет вечно носиться в Галактике.

Когда в результате сжатия температура в недрах звезды достигнет 200 млн К, начинается термоядерная реакция слияния ядер гелия с образованием углерода. Эта реакция идет по схеме:

$$4\,{}^{4}_{2}He = {}^{12}_{6}C + 2\nu + 7{,}3 \text{ МэВ } (\gamma\text{-фотон}).$$

Ядра углерода могут присоединять ядра гелия и образовывать кислород. Таким образом, продуктами ядерного горения гелия являются углерод и кислород, образующиеся в приблизительно равных количествах:

$${}^{12}_{6}C + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{16}_{8}O + \gamma\,;$$

$${}^{12}_{6}O + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{20}_{8}Ne + \gamma\,.$$

В массивных звездах, после того как истощается (выгорает) весь гелий, центральная часть звезды, состоящая из углерода и кислорода, вновь теряет устойчивость и начинает сжиматься с повышением температуры. Температура повышается и в прилегающем к ядру звезды слое, состоящем из гелия, а также повышается и во внешних слоях, состоящих из водорода. Поэтому начинается горение гелия и водорода в тонкой оболочке вокруг уже неактивного углеродно-

кислородного ядра. При достижении температуры 800 млн К (это возможно для звезд с массой выше шести солнечных масс) в ядре начинается горение углерода и кислорода с образованием неона, магния, кремния, серы. Этот процесс идет с перерывами на дополнительное сжатие, сопровождающееся все большим разогревом ядра звезды. В конце концов, когда в результате горения элементов с атомными, близкими к атомному номеру кремния, образуется звездное ядро, состоящее преимущественно из железа и никеля. После этого термоядерные реакции прекращаются. Силы притяжения становятся много выше сил отталкивания. Ядро звезды практически мгновенно сжимается (происходит коллапс) и превращается в нейтронную звезду или черную дыру.

Во время коллапса массивное ядро сжимается до размеров порядка 10 км. При этом выделяется колоссальное количество гравитационной энергии и возникает мощная ударная волна, направленная наружу. Эта волна резко повышает температуру и плотность внешних слоев звезды. В результате оболочка звезды взрывается как колоссальная термоядерная бомба. Этот процесс называется вспышкой сверхновой. Блеск звезды резко возрастает, светимость становится почти в 10 млрд раз больше светимости Солнца.

Таких катаклизмов в нашей галактике происходит множество. Так в 1054 году в летописях был зарегистрован случай появления очень яркой звезды, которую было видно даже днем. Когда астрономы сопоставили данные летописей с современными астрономическими данными, они пришли к выводу, это была вспышка сверхновой. На месте звезды образовалась Крабовидная туманность.

Массивная звезда взрывается и на ее месте образуется массивное ядро, которое в конце концов превращается в нейтронную звезду. Это объект звездной массы, в котором вследствие колоссальных давлений электроны и протоны соединяются с образованием нейтронов. Радиус такой звезды порядка 10 км. Это гигантская «капля» представляет как бы ядро элемента, которого нет в периодической системе и обладающего свойствами сверхтекучей жидкости. Значение плотности в центре нейтронной звезды достигает 10^{15} г/см^3. Нейтронная звезда устойчива.

Звезды сверхгиганты, при взрыве которых образуются нейтронные звезды с массой больше трех солнечных масс, продолжают сжиматься после взрыва в состояние с бесконечной плотностью –«черную дыру».

Таким образом, можно сделать вывод, что водород и гелий образовались в результате Большого взрыва, а остальные элементы образовались в звездах, в результате ядерных реакций. Рассмотрим распространенность элементов в космосе.

Распространенность элементов в космосе

Распространенность элементов в космосе изучает космохимия.

Изучение распространенности элементов в космосе – довольно сложная задача, так как вещество в космическом пространстве находится в различном состоянии (звезды, планеты, пылевые облака, межзвездное пространство и т. д.). Иногда состояние вещества трудно представить. Например, сложно говорить о состоянии вещества и элементов в нейтронных звездах, белых карликах, черных дырах при колоссальных температурах и давлениях. Тем не менее науке достаточно много известно о том, какие элементы и в каких количествах есть в космосе. В межзвездном пространстве встречаются ионы и атомы различных элементов, а также группы атомов, радикалы и даже молекулы, например молекулы формальдегида, воды, HCN, CH_3CN, CO, SiO_2, CoS и др. Особенно много в межзвездном пространстве ионов кальция. Кроме него, в космосе рассеяны атомы водорода, калия, углерода, ионы натрия, кислорода, титана и другие частицы. Первое место по распространенности во Вселенной принадлежит водороду.

Химический состав звезд

Химический состав звезд зависит от многих факторов, в том числе и от температуры. По мере повышения температуры состав частиц, существующих в атмосфере звезды, упрощается. Так, спектральный анализ звезд с температурой 10000-50000° С показывает в их атмосферах линии ионизированных водорода и

гелия и ионы металлов. В атмосферах звезд с температурой 5000° С обнаруживаются уже радикалы, а в атмосферах звезд с температурой 3800° С – даже молекулы оксидов. Химический состав некоторых звезд с температурами 20 000-30 000° С приведен в табл. 1.1. Видно, что, например, в звезде γ-Пегаса на 8700 атомов водорода приходится 1290 атомов гелия, 0,9 атома азота и т. д.

В спектрах звезд первых 4 классов (самых горячих) преобладают линии водорода и гелия, но по мере понижения температуры появляются линии других элементов и даже линии соединений. Это еще простые соединения: оксиды циркония, титана, а также радикалы CH, OH, NH, CH_2, C_2, C_3, CaH и др. Наружные слои звезд состоят главным образом из водорода. В среднем на 10 000 атомов водорода приходится около 1000 атомов гелия, 5 атомов кислорода и менее 1 атома других элементов. Существуют звезды с повышенным содержанием того или иного элемента: кремния, железа, марганца, углерода и др. Звезды с аномальным составом довольно разнообразны. В молодых звездах типа красных гигантов присутствует повышенное количество тяжелых элементов. Так, в одной из подобных звезд содержится в 26 раз больше молибдена, чем в Солнце.

Таблица 3.1

Химический состав некоторых звезд класса В

Элемент	Относительное количество атомов в звезде		
	τ Скорпиона	ξ Персея	ν Пегаса
Водород	8350	8300	8700
Гелий	1450	1700	1290
Углерод	2,0	1,5	3,3
Азот	3,1	1,7	0,9
Кислород	11,0	9,0	3,7
Фтор	-	-	0.023
Неон	4,3	3,4	4,05
Магний	0,46	0,49	0,76
Алюминий	0,032	0,05	0,005
Кремний	0,75	0,77	0,094

Фосфор	-	-	0,0028
Сера	-	0,25	0,55
Хлор	-	-	0,0014
Аргон	-		0,07

Химический состав звезды отражает влияние двух факторов: природы межзвездной среды и тех ядерных реакций, которые развиваются в звезде в течение ее жизни. Начальный состав звезды близок к составу межзвездной материи (газопылевого облака), из которой возникла звезда. А состав газопылевых облаков не одинаков, что и могло привести к отличию в составе элементов, содержащихся в звезде.

Спектральный анализ показывает, что наличие многих элементов в составе звезд может быть обусловлено только ядерными реакциями, протекающими в них (барий, цирконий, технеций). Существуют звезды, в которых водород превратился в гелий. Их атмосфера состоит из гелия. В таких гелиевых звездах обнаружены углерод, неон, титан, азот, кислород, кремний, магний. Известны гелиевые звезды, практически не содержащие водорода, который выгорел в результате ядерных реакций.

Очень интересными являются углеродные звезды. Это относительно холодные звезды (гиганты и сверхгиганты), их поверхностные температуры лежат в пределах 2500-6000° С. При температуре ниже 3500° С при равном количестве кислорода и углерода в атмосфере большая часть этих элементов связана в монооксид углерода CO. Из других углеродных соединений в атмосферах таких звезд присутствуют радикалы CN и CH.

Исследование распространенности элементов в космосе показало, что с увеличением атомной массы элемента уменьшается его распространенность. Кроме того, элементы с четными порядковыми номерами встречаются чаще, чем с нечетными. Распространенность элементов в космосе приведена на рис. 3.1.

Логарифм относительного
содержания
(на 10^{12} атомов H)

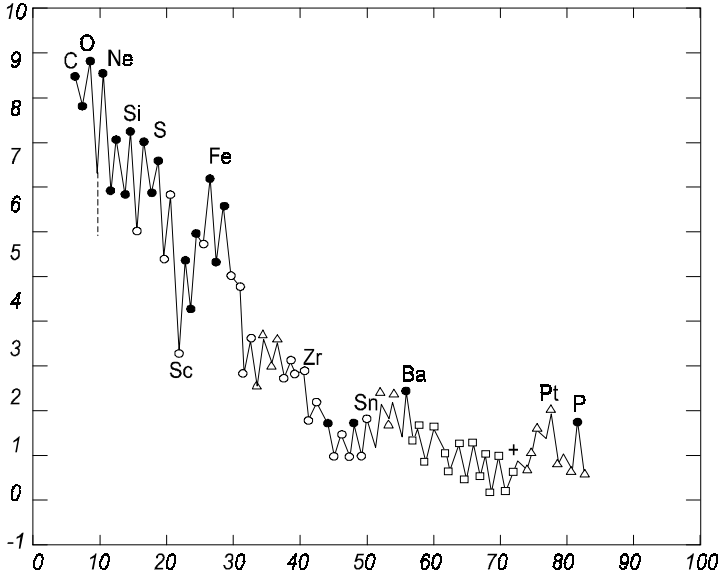


Рис. 3.1. Распространенность элементов в космосе

Распространенность элементов в Солнечной системе

Исследование химического состава Солнца производится методами спектрального анализа. Это очень сложная работа, так как при условиях, существующих на Солнце, атомы элементов сильно ионизованы (так, атом железа теряет до 9 электронов).

Атмосфера Солнца находится в постоянном движении. Температуры фотосферы, хромосферы, солнечной короны резко различаются. Тем не менее, химический состав Солнца установлен достаточно полно. На Солнце обнаружено 72 элемента. Содержание 60 элементов определено достаточно надежно, но для элементов с атомной массой выше 57 данные менее точны.

Больше всего на Солнце водорода – почти 75% массы. Гелия содержится около 24%, лишь 1-2% приходится на все остальные элементы. Хотя 1% от солнечной массы – это не так уж и мало. Масса Солнца равна $1{,}99 \cdot 10^{33}$ г. Сотая доля этой массы составляет $1{,}99 \cdot 10^{31}$г, или $1{,}99 \cdot 10^{25}$т, что составляет величину, в 3350 раз превышающую массу Земли. Довольно много на Солнце кислорода, углерода, азота, натрия, железа, никеля, мало лития. Бор и фтор обнаружены в соединении с водородом. Радия, урана, висмута, рения ничтожно мало, а радиоактивных элементов, получаемых в условиях Земли искусственно (прометия, астата), а также галогенов, кроме фтора, не обнаружено. В атмосфере Солнца на один атом кислорода приходится:

водорода	560 атомов;
алюминия	0,0040 атома;
углерода	0,37 атома;
кремния	0,037 атома;
азота	0,76 атома;
серы	0,016 атома;
магния	0,062 атома;
калия	0,00029 атома;
натрия	0,0035 атома;
кальция	0,0031 атома.

Химический анализ планет, окружающих Солнце, еще более труден, так как планеты светят только отраженным солнечным светом, и о их составе приходится судить по спектрам отражения. Эти спектры сложны для расшифровки и часто не дают однозначных ответов. Расширили возможности изучения состава планет, их атмосфер межпланетные космические станции.

Таблица 3.2

Плотности планет Солнечной системы

Планета	ρ, г/см^3	Планета	ρ, г/см^3	Планета	ρ, г/см^3
Меркурий	5,62	Луна	3,35	Нептун	2,43
Венера	5,15	Юпитер	1,35	Плутон	-
Земля	5,517	Сатурн	0,71		
Марс	4,00	Уран	1,60		

Сначала высказывались мнения о том, что все планеты Солнечной системы имеют одинаковый состав, но уже сравнение плотностей показало, что состав различается (см. табл. 3.2).

Меркурий, Венера, Земля, Марс, Луна – твердые тела. Они образованы силикатными, алюмосиликатными, карбонатными и другими минералами, составляющими их поверхностные слои. Внутри этих планет находится ядро, образованное более тяжелыми породами, содержащими элементы с большой атомной массой. Меркурий содержит ферромагнитное ядро и обладает сильным магнитным полем. Общее количество металлического железа, по некоторым данным, в Меркурии составляет около 58%. Венера и Марс, как и Земля, имеют железные ядра, окруженные минеральной, преимущественно силикатной, оболочкой. На Венере много карбонатов, термическое разложение которых привело к накоплению диоксида углерода в атмосфере этой планеты. По данным советских космических станций "Венера-4" – "Венера-7", атмосфера Венеры на 97% состоит из диоксида углерода, содержит около 2% азота, 1% водяного пара и не более 0,1% кислорода. Температура на поверхности планеты около 500° С, а давление около 100 атм.

Планета Марс имеет атмосферу значительно более разреженную, чем земная. Атмосферное давление на Марсе составляет всего 0,08 земного. Основными составными частями его атмосферы являются азот и диоксид углерода. Кислорода и водяных паров приблизительно в 1000 раз меньше, чем в земной атмосфере. Вполне возможно, что химический состав соединений, образующих поверхность Марса, похож на земной. Это находит подтверждение в многочисленных экспериментах по моделированию марсианских условий. Это же подтверждают снимки, сделанные с достаточно близкого расстояния с космических станций "Марс" и "Маринер".

Гигантские планеты Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун образованы менее плотными веществами. Основу их составляют водород, гелий, метан, аммиак и другие газы. Существование твердого ядра у этих планет нельзя считать доказанным. Спектральные исследования Юпитера, Сатурна,

Урана и Нептуна показали наличие в их атмосферах метана. В атмосферах Юпитера и Сатурна обнаружен также аммиак, который, возможно, есть на Уране и Нептуне, но уже в твердом состоянии. Исследование показало также наличие водорода (около 60%), гелия (36%), неона (около 3%). Кроме того, в атмосфере содержатся сложные молекулы: циановодород, диоксид азота в форме N_2O_4, вода, сероводород, высокомолекулярные молекулы (пирен, коронен, хризен и др.). Тем не менее, несмотря на многие годы исследований, химический состав планет-гигантов изучен недостаточно.

Происхождение планет

Солнечная система – это прежде всего звезда Солнце и девять планет, обращающихся вокруг него. В порядке расстояний от светила они располагаются следующим образом: *Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун* и *Плутон.* Три последние планеты с Земли можно наблюдать только в телескопы. Остальные видны как более или менее яркие кружки и известны людям со времен глубокой древности.

Современные названия планет связаны с именами богов древнеримской мифологии. При этом имена, данные планетам, не случайны: в какой-то степени они характеризуют их основные качества. Так, Меркурий (посланец богов) отличается яркостью и быстрым перемещением по небу; Венера (богиня красоты и любви) – яркостью и красотой; Марс (бог войны) – кроваво-красным оттенком; Юпитер (верховный бог) – величавым и спокойным блеском; Сатурн (бог времени и судьбы) – свинцово-мертвенным сиянием и крайне медленным перемещением среди звезд. Меткость названий в известной степени свидетельствует о большой наблюдательности древних астрономов. Но, разумеется, какие-либо физические характеристики планет в то время были совершенно неизвестны, и рассуждения о планетах основывались лишь на фантазии и религиозных представлениях.

Современные научные представления о Солнечной системе имеют своим началом теорию, разработанную великим

польским ученым Николаем Коперником (1473–1543). В результате многолетних наблюдений и раздумий Коперник пришел к выводу, что центр нашей планетной семьи – Солнце, а Земля представляет собой одну из планет. Открытие польского ученого положило конец более чем тысячелетнему господству геоцентрической системы, разработанной древнегреческим философом и ученым Аристотелем (IV в. до н.э.) и дополненной во II в. до н.э. Клавдием Птолемеем. Геоцентрическая система утверждала, что наблюдаемые движения небесных светил объясняются их обращением вокруг центра Вселенной – неподвижной Земли. Система Аристотеля–Птолемея очень хорошо согласовывалась с христианскими представлениями о мире, божественном творении и особом положении человека во Вселенной. Поэтому церковники всячески защищали эту ошибочную теорию. Утверждение новой гелиоцентрической системы положило начало освобождению естествознания от гнета богословия.

Законы движения планет вокруг Солнца открыл немецкий ученый Иоганн Кеплер (1571–1630). Кеплер установил, что планеты перемещаются вокруг нашего дневного светила по несколько вытянутым окружностям – эллипсам, и чем ближе планета к Солнцу, тем больше ее скорость. Но законы Кеплера, рисуя картину движения планет, ничего еще не говорили о тех силах, которые этими движениями управляют. Решение данной проблемы пришло позже – в результате открытия английским ученым Исааком Ньютоном (1642–1727) закона всемирного тяготения. Именно сила тяготения удерживает планеты около Солнца, не дает им улететь в космическое пространство и заставляет обращаться по замкнутым орбитам.

Солнце служит центром притяжения не только для девяти больших планет, но и для десятков (а возможно, и сотен) тысяч различных космических тел: планетных спутников, астероидов, комет, а также метеоритов, частиц газопылевой материи, рассеянных атомов различных химических элементов, потоков атомных частиц и т. д.

Солнечной системе присущи определенные закономерности:

- орбиты планет лежат почти в одной плоскости, совпадающей с плоскостью экватора Солнца;

- планеты вращаются вокруг Солнца в том же направлении, в каком Солнце вращается вокруг своей оси, вращение собственных спутников планет происходит в том же направлении. Исключение составляет Венера, вращающаяся по часовой стрелке, Уран, который вращается «лежа на боку» - угол между плоскостью экватора Урана и плоскостью его орбиты составляет 82^{o}. В обратную сторону вращается Тритон – спутник Нептуна, маленькая Феба вокруг Сатурна и несколько маленьких спутников Юпитера.
- солнечная система обладает устойчивостью, несмотря на взаимное гравитационное возмущение;
- практически все вещество солнечной системы (99,9%) сосредоточено в Солнце. Почти половина оставшейся доли сосредоточена в Юпитере;
- планеты четко делятся на две группы: железокаменные, состоящие в основном из тяжелых элементов (железо, никель, кремний, кислород и др.) и водородно-гелиевые. К первым относятся Меркурий, Венера, Земля, Марс, расположенные сравнительно недалеко от Солнца (в пределах 1,5 астрономических единицы) ко вторым – Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, расположенные достаточно далеко от Солнца (от 3 до 30 астрономических единиц). Эти группы планет резко отличаются по плотности (табл. 3.2)

Солнечная система, таким образом, – весьма сложное образование, ряд закономерностей которого стал доступен для изучения лишь в последние десятилетия. Огромную роль в их исследовании приобретает сейчас космонавтика – наиболее мощное и перспективное средство познания Вселенной.

Планетная космогония имеет свои специфические трудности. В ней крайне ограничена возможность эксперимента – лабораторным исследованиям доступны пока лишь метеориты и образцы лунных пород. 0граничены также возможности сравнительного метода исследования, так как строение и закономерности других планетных систем пока остаются неизвестными. Все наши представления о происхождении Солнечной системы мы должны основывать на закономерностях, присущих лишь ей одной. Так, важной закономерностью является то, что все планеты движутся вокруг

Солнца в одном направлении, в единой плоскости (за исключением Плутона) и почти по круговым орбитам. С точки зрения законов небесной механики, это весьма редкий случай обращения тел под действием сил тяготения. Ведь согласно законам механики, такое движение должно происходить в разных направлениях и разных плоскостях, по вытянутым эллиптическим орбитам. Если бы Солнечная система образовалась в результате случайного, беспорядочного объединения небесных тел, то закономерности планетных движений значительно бы отличались от существующих.

Обращает на себя внимание также и то, что по своим физическим характеристикам планеты образуют *две различные группы,* отличающиеся размерами, плотностью, химическим составом планет. Одна из них состоит из сравнительно небольших планет земной группы – Меркурия, Венеры, Земли и Марса, которые имеют значительную плотность и состоят в основном из силикатов и металлов. Другую группу составляют планеты-гиганты – Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун, обладающие весьма малой плотностью, более быстрым вращением вокруг своей оси. Планеты второй группы состоят в основном из легких летучих элементов: на Юпитере и Сатурне преобладают водород и гелий, а на Уране и Нептуне – метан, аммиак, вода.

Итак, центральное тело нашей планетной системы – *Солнце.* Оно могучий источник энергии: ежесекундно наше светило излучает такое количество тепла, которого бы вполне хватило, чтобы растопить слой льда, окружающий земной шар толщиной в тысячу километров.

Ученые давно задумывались над тем, каким образом Солнце восполняет запасы своей энергии, столь щедро излучаемой в мировое пространство. Эту проблему мы уже рассмотрели в предыдущей главе, тем не менее, вспомним некоторые проблемы. На первых порах наиболее естественным считалось предположение, что энергия нашего дневного светила не пополняется. Но в таком случае температура Солнца должна была бы заметно понижаться (по расчетам, на 2% в год), а следовательно, непрерывно уменьшалось бы количество тепла и света, получаемых Землею. Между тем измерения, проводившиеся на протяжении ряда лет на специальных горных станциях, говорят о том, что поток светового и теплового излучения Солнца практически не меняется. А это означает, что

энергия нашего светила постоянно пополняется из какого-то источника.

В свое время высказывалось предположение, что таким источником может служить непрерывное сжатие Солнца, происходящее под действием сил тяготения. Так действительно могло бы происходить, но тогда источника тепла и света хватило бы лишь всего на 20 миллионов лет. Между тем геологические данные убедительно свидетельствуют, что наша планета существует не менее 5 миллиардов лет. Возраст Солнца, следовательно, по крайней мере не ниже этой цифры.

Современная физика, раскрыв тайны атомного ядра и сложнейших ядерных превращений, пролила новый свет на загадку солнечной энергии. Правда, мы лишены возможности непосредственно наблюдать, что происходит в недрах Солнца. Но о внутренней жизни светила можно судить по процессам, протекающим на солнечной поверхности, по тем периодическим изменениям, которые здесь происходят.

В настоящее время можно считать доказанным, что в недрах Солнца при огромнейших температурах – в десятки миллионов градусов – и чудовищных давлениях протекают так называемые термоядерные реакции, которые сопровождаются выделением огромного количества энергии. Одной из таких реакций является, например, синтез ядер гелия. При этом четыре ядра атома водорода в результате длинной цепи ядерных превращений образуют одно ядро атома гелия. Подсчитано, что каждую секунду в недрах нашего дневного светила 564 миллиона тонн водорода превращаются в 560 миллионов тонн гелия, а остальные 4 миллиона тонн водорода переходят в излучение.

Итак, термоядерная реакция в недрах Солнца будет происходить до тех пор, пока не иссякнут запасы водорода. В настоящее время они составляют около 60% массы Солнца. Такого резерва должно хватить по меньшей мере на несколько десятков миллиардов лет. Следовательно, человечество на долгие времена обеспечено солнечным теплом и светом.

Наше Солнце – источник не только света и тепла: его поверхность излучает потоки невидимых ультрафиолетовых и рентгеновских лучей, а также корпускул – заряженных частиц вещества. Воздействие этих излучений на характер процессов в земной атмосфере было замечено уже много лет назад. Но

изучение их по-настоящему началось лишь в последние годы. Хотя количество тепла и света, посылаемого на Землю Солнцем на протяжении многих сотен миллионов лет, остается постоянным, интенсивность его невидимых излучений значительно меняется: она зависит от уровня так называемой солнечной активности.

Замечено, что в деятельности Солнца наблюдаются своеобразные циклы, в течение которых солнечная активность достигает максимального значения, а затем вновь убывает. Это случается примерно через каждые 11 лет. В такие годы увеличивается количество пятен и вспышек на поверхности нашего дневного светила, невидимые излучения достигают наибольшей интенсивности. Одновременно с этим на Земле возникают магнитные бури, происходят нарушения радиосвязи, наблюдается усиление ионизации верхних слоев атмосферы.

Кроме 11-летнего цикла солнечной активности существуют и другие, в частности, 100-летний, или вековой. Такие циклы как бы накладываются друг на друга. Благодаря этому общий уровень солнечной активности зависит от того, на каком этапе своего развития находится в данный момент каждый из циклов. Невидимые излучения Солнца достигают наибольшей интенсивности в те годы, когда максимумы циклов совпадают. Подобное совпадение произошло, например, в 1957 г.

Солнце оказывает заметное влияние не только на такие природные процессы, как погода, земной магнетизм, но и на *биосферу* – животный и растительный мир Земли, а также и на *человека.*

Влияние солнечной активности на биологические процессы отмечалось многими исследователями. В конце прошлого столетия русский ученый Н. Шведов обнаружил связь между толщиной годичных колец у деревьев и циклами активности нашего дневного светила. Другие ученые установили связь между солнечной активностью и ростом морских кораллов, размножением рыб и грызунов, набегами саранчи.

В 1934 г. по инициативе советского ученого профессора А.Л. Чижевского был проведен интересный эксперимент. В течение ряда лет Международный институт по изучению солнечных, земных и космических излучений, почетным председателем которого он являлся, рассылал французским госпиталям и больницам специальные извещения о

предстоящих периодах усиления солнечной активности. В это время врачи должны были с особой тщательностью отмечать различные отклонения в состоянии пациентов: изменение кровяного давления, колебание температуры, появление болей. Полученные сведения пересылались в Институт излучений и сравнивались с астрономическими данными о колебаниях солнечной активности.

Результаты наблюдений оказались весьма любопытными. В больницах и госпиталях было зарегистрировано около 40 тысяч острых сердечных приступов. И когда медики вычертили кривую распределения приступов по времени, то оказалось, что она является почти точной копией графика изменений солнечной активности за тот же период, составленного астрономами. В те дни, когда активность дневного светила достигала максимума, число сердечных заболеваний резко возрастало. Ленинградский исследователь Б. Рыбкин, проанализировав большое количество накопленных фактов, подтвердил, что число заболеваний инфарктом миокарда значительно увеличивается в дни повышенной солнечной активности.

Другая группа врачей установила, что 84% обострений различных хронических заболеваний совпадает с прохождением солнечных пятен через центральную часть диска Солнца.

Наблюдения Чижевского на Дальнем Востоке показали, что большие вспышки заболеваний энцефалитом совпадали с максимумом солнечной активности 1947 г. и 1957 г. Имеются также данные, свидетельствующие о наличии связи между колебаниями солнечной активности и появлениями новых вариантов гриппозного вируса.

Какие же звенья цепи, связывающие солнечную активность и биологические процессы, нам уже известны?

В 1941 г. японский ученый Маки Токата заметил, что свойства крови человека зависят от солнечного облучения. Токата изучал реакцию выпадения белковых хлопьев в сыворотке крови при добавлении определенных реактивов. Оказалось, что ее интенсивность зависит от высоты Солнца над горизонтом: она постепенно нарастает к полудню и снижается к вечеру. Причем суточный ход этой реакции не зависит ни от того, где находится человек – на улице или в помещении, ни от состояния погоды. Человек оказался как бы живыми солнечными часами.

Советскому врачу-гематологу Н.Н. Шульцу впервые удалось установить, что колебания солнечной активности приводят к изменениям состава крови. При возрастающей активности увеличивается число красных кровяных клеток и уменьшается число белых. Влияние солнечной активности на сердечно-сосудистую систему человека можно выявить при санаторном лечении больных.

Но вернемся к нашим соседям по Солнечной системе. Начнем с ближайшего к нам небесного тела – естественного спутника Земли *Луны.*

Подобно тому, как наша Земля обращается вокруг Солнца, вокруг Земли движется Луна. Луна меньше Земли, ее поперечник составляет около одной четверти земного диаметра, а масса в 81 раз меньше массы Земли. Поэтому сила тяжести на Луне в 6 раз меньше, чем на нашей планете. Слабая сила притяжения не позволила Луне удержать атмосферу, по той же причине не может быть на ее поверхности и воды. Открытые водоемы быстро испарились бы, а водяной пар улетучился бы в космос.

Поверхность Луны весьма неровная: она покрыта горными хребтами, кольцевыми горами – кратерами и темными пятнами равнинных областей, называемых морями. Однако и в морях расположено много мелких кратеров.

С развитием космической техники и созданием автоматических космических аппаратов ученые получили в свое распоряжение эффективное средство для изучения ближайших к нам небесных тел, способное доставить прямую уникальную информацию непосредственно с «места событий». Луна – наглядный тому пример. Начиная с 1959 г., когда ее поверхности впервые достигла советская автоматическая станция «Луна-2», и до настоящего времени космические аппараты принесли немало новых сведений о нашем естественном спутнике.

Так, одна из интереснейших лунных проблем связана с загадкой происхождения кольцевых лунных гор – кратеров. Ее решение может пролить свет на всю историю Луны. Внешне эти кратеры весьма напоминают воронки, образующиеся в местах падения гигантских метеоритов. Такое сходство в свое время привело многих астрономов к мысли, что лунные кольцевые горы представляют собой не что иное, как своеобразные

метеоритные кратеры. Но это объяснение отнюдь не единственное.

Существовала и другая, не менее распространенная точка зрения, связывавшая образование лунных кратеров с былой вулканической деятельностью. Удалось получить целый ряд данных, явно свидетельствующих о том, что вулканические процессы, бесспорно, играли существенную роль в формировании лунной поверхности.

Однако для того чтобы ответить на вопрос, что же представляют собой лунные горы – кратеры потухших вулканов или воронки, образовавшиеся в результате падения космических тел (метеоритов), в распоряжении исследователей Луны не было достаточного количества необходимых данных. Такие данные появились лишь в результате изучения нашего естественного спутника космическими аппаратами. Они свидетельствуют в пользу гипотезы ударного происхождения большинства лунных кратеров.

Ученые считают, что Луна подверглась наиболее интенсивной метеоритной бомбардировке на протяжении первого миллиарда лет своего существования. Этим объясняется, что в ее морях (впадинах), образовавшихся несколько позже континентальных районов, количество кратеров примерно в 30 раз меньше. В настоящее время интенсивность метеоритной бомбардировки весьма невелика. Согласно данным, полученным с помощью космических аппаратов, на площади радиусом около 200 километров метеорит с массой около одного килограмма падает сейчас в среднем примерно один раз в месяц. Что касается микрометеоритов, то за два с половиной года на площадке радиусом около 20–25 сантиметров вообще не осело ни одной частицы.

Одно время считалось, что Луна покрыта толстым слоем пыли, образовавшейся в результате постоянной бомбардировки незащищенной атмосферой поверхности микрометеоритами. Однако радионаблюдения, а затем автоматические космические аппараты и лунные экспедиции не подтвердили этих представлений. Толщина рыхлого поверхностного слоя на Луне оказалась незначительной.

Длительное воздействие разнообразных внешних факторов привело к тому, что на поверхности Луны образовался рыхлый слой, покрывающий основную породу – риголит, состоящий из

осколков магматических пород, шлакообразных частиц и застывших капель расплавленной магмы. Толщина его в разных районах колеблется от нескольких миллиметров до нескольких метров (а может быть, и десятков метров). Что касается лавы, заполняющей лунные бассейны, то она имеет внутреннее происхождение и не могла образоваться в результате метеорных ударов. Но такие удары, возможно, вызвали нарушение лунной коры, открыв тем самым выход лавовым потокам на поверхность.

Для выяснения истории Луны очень важно знать возраст различных ее образований. С этой целью производилось определение возраста лунных пород, доставленных на Землю космическими аппаратами из различных районов лунной поверхности. Самые молодые лавы были обнаружены в Море Дождей и в Океане Бурь: их возраст около 2,6 миллиарда лет. В Море Изобилия, в месте посадки станции «Луна-16», возраст пород составляет 3,5 миллиарда лет. В расположенном на территории Океана Бурь континентальном остатке Фра-Мауер лавы имеют возраст около 3,9 миллиарда лет. Еще старше чисто континентальные области, но их возраст не превосходит 4 миллиардов лет. Более древних образований на Луне пока что обнаружить не удалось.

На основе имеющихся в настоящее время данных можно составить такую картину. В первые 500 миллионов лет происходило расплавление вещества Луны, хотя оно и не охватило всю массу сразу. К концу этого срока уже образовались континенты, а в период с 700 миллионов лет до 1,2 миллиарда лет – моря. Как показывают исследования, проведенные с помощью космических аппаратов, примерно 95% пород, покрывающих лунную поверхность, прошли в свое время через магматическое состояние. Причем все это разновидности базальтов. Гранитов, часто встречающихся на Земле, на Луне нет совсем. Впервые это показали измерения, проведенные советским искусственным спутником Луны «Луна-10», регистрировавшим гамма-излучение лунных пород. Гранитный слой должен был бы дать более интенсивную радиацию, чем та, которую зарегистрировали приборы спутника.

Более ранняя стадия происхождения и развития Луны, очевидно, не отличается от процесса возникновения и развития Солнечной системы в целом.

Как уже было сказано, все планеты можно разделить на две группы. В одну из них входят сравнительно небольшие и плотные Меркурий, Венера, Земля и Марс. Вторая группа – планеты-гиганты Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун, отличающиеся малой плотностью и огромными размерами. Особняком стоит еще мало изученный Плутон, открытый в марте 1930 г. По размерам он почти равен Земле и, по всей вероятности, должен быть отнесен к планетам земной группы, хотя есть предположение, что это оторвавшийся и «заблудившийся» спутник восьмой планеты – Нептуна.

Вокруг многих планет обращаются спутники. Особенно богат ими Юпитер, у которого известно 13 спутников. Четыре из них можно видеть в простой бинокль. Вокруг Сатурна помимо 10 крупных спутников обращается огромное число песчинок и пылинок, образующих широкое кольцо, опоясывающее планету. Спутники имеются также и у Земли, Марса, Урана и Нептуна. Как правило, спутники очень малы по сравнению со своими планетами. Только в системе Земля – Луна спутник представляет собой крупное и массивное космическое тело.

Ближайшая к Солнцу планета – *Меркурий* обладает, как и Плутон, наибольшей эллиптичностью своей орбиты, в результате чего расстояние от планеты до Солнца изменяется в пределах от 47 миллионов (в перигелии) до 70 миллионов (в афелии) километров. Среднее же расстояние от Солнца до Меркурия составляет 58 миллионов километров, в 3 раза меньше, чем до Земли. Несмотря на значительную яркость, эта планета с трудом поддается наблюдению, так как никогда не удаляется от Солнца более чем на 28 градусов к западу или к востоку. Это приводит к тому, что она почти всегда «прячется» на светлом фоне утренней или вечерней зари. И все же «неуловимая» планета иногда дарит ученым возможность наблюдать ее в дневное время, когда она медленно проходит на фоне солнечного диска. Это редкое астрономическое явление наблюдалось, в частности, в ноябре 1973 г.

Меркурий вокруг собственной оси оборачивается за 58,6 земных суток, а вокруг Солнца — за 88 суток. Температура на освещенной стороне оценивается в 325-437° С, на ночной стороне — от -123 до -185°С. Американский космический корабль «Маринер-10» в 1974 г. обнаружил на Меркурии разреженную атмосферу (давление 10^{-11} атм), состоящую из

гелия и водорода в соотношении 50:1. Магнитное поле на Меркурии в 100 раз слабее земного, что в большой мере связано с медленным вращением планеты вокруг собственной оси. Анализ переданных кораблем «Маринер-10» изображений показал, что поверхность Меркурия имеет много общего с лунной. В то же время явно отмечается преобладание материкового рельефа над «морями». Наряду с похожими на лунные кратерами разных размеров отмечены отсутствующие на Луне эскарпы — обрывы высотой 2-3 км и протяженностью в сотни и тысячи километров.

Масса Меркурия равна $0{,}33 \cdot 10^{27}$ г, что составляет 1/18 массы Земли. Несмотря на небольшие размеры (диаметр планеты 4880 км), Меркурий имеет необычайно высокую плотность (5,42 г/см^3), что значительно выше плотности Луны и близко к плотности Земли.

О химическом составе поверхностных пород и недр Меркурия можно судить лишь по косвенным данным. Отражательная способность меркурианского реголита свидетельствует о том, что он состоит из тех же пород, которые слагают лунный грунт. Высокая плотность планеты, видимо, означает наличие горячего, вероятно расплавленного, металлического ядра, на которое приходится, по расчетам, около 62% всей ее массы. Ядро окружено силикатной оболочкой толщиной порядка 600 км.

Меркурий – наименьшая из всех планет, его диаметр – всего 4880 километров. В телескоп он виден в виде серпика.

Любопытной особенностью планеты является длительный период суточного вращения: продолжительность солнечных суток на Меркурий равна 176 земным суткам. Это приводит к весьма резкому колебанию температуры: она меняется почти от 450 градусов тепла днем до 160 градусов холода в ночное время. Диапазон колебания температуры, таким образом, достигает почти 600 градусов. Таким образом, условия на Меркурий таковы, что органическая жизнь на этой планете невозможна: там нет кислорода и воды, чрезвычайно высокая температура, атмосферу пронизывает жесткое излучение Солнца – радиация, способная уничтожить жизнь в самом ее зародыше.

Вторая от Солнца планета – *Венера,* ближайшая наша соседка: при ее наибольшем сближении с Землей нас разделяет

всего около 40 миллионов километров. Орбита Венеры отдалена от дневного светила на 108 миллионов километров. Энергетический «паек» этой планеты в 2,5 раза превышает земной. За 225 земных суток Венера совершает полный оборот вокруг Солнца. Скорость ее движения по орбите – около 35 километров в секунду.

Несмотря на сравнительную близость к Земле, Венера – одна из наиболее «неразгаданных» планет. Густой облачный покров Венеры затрудняет ее изучение. Поперечник Венеры почти равен земному и составляет 12 000 километров.

Наличие атмосферы и почти одинаковые с Землей размеры и масса долгое время позволяли ученым считать Венеру «близнецом» нашей планеты. Но исследования последних лет заставили ученых решительно отказаться от такого взгляда. Главное отличие Венеры от Земли – особенность ее суточного вращения. Оказалось, что сутки на этой планете, подобно Меркурию, длиннее ее года: оборот Венеры вокруг оси длится дольше, чем обращение вокруг Солнца, и совершается в обратном направлении, чем у других планет земной группы. земных суток. Ось вращения практически перпендикулярна к плоскости орбиты. Это значит, что на Венере не происходит смены времен года.

Через каждые полтора года Венера сближается с Землей, причем в это время всегда бывает обращена к Земле одним и тем же участком поверхности.

Отмеченные особенности движения Венеры создали совершенно особые условия снабжения ее солнечной энергией и нашли свое отражение в других ее физических характеристиках. Многие из этих условий были выяснены в последние полтора-два десятилетия методом радиоисследования. Они показали, что на планете царит очень высокая температура, а ее атмосфера чрезвычайно насыщена углекислотой. Эти сведения блестяще подтвердились во время полетов к планете советских автоматических космических станций «Венера-4», «Венера-5», «Венера-6», «Венера-9» и «Венера-10».

Венера оборачивается еще медленнее, чем Меркурий, вокруг собственной оси — за 243 земных дня, причем в обратном направлении, в связи с чем Солнце на Венере

восходит на западе, а заходит на востоке. Венерианский год продолжается 224,7 земных суток.

Масса Венеры $4687 \cdot 10^{27}$ г, что составляет 81% земной массы. Средний радиус планеты — 6050 км, средняя плотность — 5,245 г/см^3 , ускорение силы тяжести — 8,8 м/с^2; вес предметов на Венере только на 10% меньше их веса на Земле. Полагают, что кора планеты маломощная (15-20 км), а основная часть ее представлена силикатной оболочкой, сменяемой на глубине 3224 км железным ядром. Радиолокационное зондирование позволило установить наличие расчлененного рельефа — с горными цепями высотой до 8 км, с кратерами диаметром в десятки километров (максимально до 160 км) и глубиной до 0,5 км. Обширные выровненные пространства покрыты каменистыми россыпями остроугольных обломков. Вблизи экватора обнаружена гигантская линейная впадина длиной до 1500 км и шириной 150 км при глубине до 2 км. Скорее всего, ее происхождение — рифтогенное.

Венера, как и Луна, не имеет дипольного магнитного поля. Это связывают с ее высокой температурой. На поверхности планеты замеренная температура оказалась равной 4б8±7° С, а на глубине, видимо, составляет 700-800° С. В то же время породы поверхности обладают намагниченностью.

Для Венеры характерна очень мощная атмосфера гигантской плотности. На поверхности величина атмосферного давления не менее 90-100 атм, что соответствует давлению земных морей на глубине 1000 м. Космические аппараты «Венера» и «Маринер» позволили определить структуру и химический состав атмосферы, которая содержит в основном диоксид углерода (97%), а также азот (2%), водяные пары (0,05%), кислород (0,01%), серную кислоту, хлористый и фтористый водород. Считают, что атмосфера Венеры примерно соответствует земной на ранних этапах ее становления (3,8-3,3 млрд. лет назад).

Облачный слой атмосферы простирается с высоты 35 км до 70 км. Нижний ярус облаков состоит на 75-80% из серной кислоты, кроме того, присутствуют плавиковая и соляная кислоты. Атмосфера такого состава должна обладать большой химической активностью.

Находясь на 50 млн. км ближе Земли к Солнцу, Венера получает в два раза больше тепла, чем наша планета, 15,06 Дж/см^{2}мин. Эту энергию аккумулирует углекислая атмосфера,

обусловливающая огромный парниковый эффект и высокие температуры венерианской поверхности — горячей и, по-видимому, сухой.

Отмечается сложная динамика атмосферы и движений облаков. Вероятно, существуют мощные полярные вихри и сильные ветры на высоте около 40 км. У поверхности планеты ветры слабые, порядка 3 м/с, что, скорее всего, связано с отсутствием значительных перепадов приповерхностной температуры. Практическим безветрием, видимо, объясняется отсутствие пыли в местах посадок спускаемых аппаратов станций «Венера».

Плотная атмосфера долгое время не позволяла судить о породах венерианской поверхности. Определение их состава производилось гамма-спектрографами спускаемых аппаратов, которые анализировали содержание в грунтах естественной радиоактивности изотопов урана и тория, а также калия. Тип пород по этим показателям оказался близким к земным базальтам, плотность которых составляет 2,7 г/см , и частично к гранитам. В связи с фактическим отсутствием кислых горных пород за пределами Земли последнее суждение сомнительно.

Итак, по современным данным, температура поверхности Венеры достигает 400-500 градусов тепла, давление газа – около 100 атмосфер – в 100 раз больше, чем на Земле. Атмосфера на 97% состоит из углекислого газа с небольшой примесью окиси углерода и содержит следы хлористоводородной и фтористоводородной (плавиковой) кислот. Кислорода в атмосфере не более 1%.

Советские автоматические межпланетные станции, совершившие посадку на дневную сторону планеты, позволили произвести замер освещенности на ее поверхности. Оказалось, что несмотря на густой облачный покров, препятствующий проникновению солнечных лучей, освещенность Венеры сравнительно высока. Поверхность планеты сложена рыхлым грунтом, по своему химическому составу близким к граниту. Очевидно, Венера полностью лишена каких-либо признаков жизни.

Земля – третья планета от Солнца. Она удалена от него на расстояние 150 миллионов километров. Это расстояние в астрономии принято употреблять в качестве единицы (а.е.) длины для измерения расстояния между телами Солнечной

системы. Точное значение этой единицы составляет 149597892±1,5 километра. Вследствие небольшой эллиптичности орбиты расстояние от Земли до Солнца изменяется в пределах около 5 миллионов километров: в перигелии оно на 2,5 миллиона километров меньше, в афелии – на столько же больше.

Полный оборот по орбите Земля завершает за 365,25 суток, двигаясь вокруг Солнца со скоростью 30 километров в секунду. Находясь на Земле, мы сами принимаем участие в этом движении, совершенно не ощущая его.

Годовое движение Земли вокруг Солнца и суточное – вокруг оси – главные движения нашей планеты. Всего Земля совершает не менее 14 движений в космическом пространстве. Среди них такие значительные, как поступательное движение, совершаемое вместе с Солнцем и другими планетами со скоростью 20 километров в секунду по направлению к созвездию Геркулеса, и участие в общем обращении Солнца и звезд вокруг центра нашей звездной системы – Галактики.

Ось суточного вращения Земли наклонена к плоскости орбиты на 66°5' и направлена северным концом в точку на небесной сфере, расположенную рядом со звездой Альфа в созвездии Малой Медведицы. Эта звезда, называемая Полярной, является центром вращения небесной сферы.

Своим притяжением Земля удерживает вокруг себя атмосферу, состоящую в основном из азота и кислорода. В качестве примесей в ее состав входят аргон и углекислый газ. Существенной особенностью нашей планеты является обилие воды: площадь морей и океанов составляет примерно три пятых земной поверхности. Вода и водяные пары в атмосфере играют огромную роль в протекании различных геофизических и биологических процессов на Земле.

Земной шар окружает магнитное поле – своего рода ловушка для электрически заряженных частиц, приходящих из космоса. Далеко за пределами атмосферы Земля опоясана облаками частиц высоких энергий, образующих пояса радиации. Эти пояса защищают нашу планету от жестких космических лучей, губительных для всего живого. Более подробно Землю и ее характеристики мы рассмотрим несколько ниже.

Следующая планета – *Марс,* орбита которого удалена от Солнца на 227 миллионов километров. Он получает от Солнца

значительно меньше света и тепла, чем Земля. Но, отличаясь большей суровостью, условия на Марсе все же не выходят слишком далеко за пределы тех, которые можно считать допустимыми для существования живых организмов.

Марс расположен на 75 млн. км дальше Земли от Солнца, поэтому марсианские сутки длятся 687 земных, а солнечной энергии к нему поступает в 2,3 раза меньше по сравнению с Землей. Период обращения вокруг оси почти как у Земли — 24 ч 34 мин 22,6 сек. Наклон оси к плоскости орбиты также близок к земному — 24°. Это обеспечивает смену сезонов года и существование «климатических» поясов — жаркого экваториального, двух умеренных и двух полярных. В связи с малым количеством поступающей солнечной энергии контрасты тепловых поясов и сезонов года слабее земных.

Плотность атмосферы Марса меньше, чем у Земли, в 130 раз — всего 0,01 атм. В ее состав входят диоксид углерода (95%), азот (2,5%), аргон (2%), кислород (0,3%), пары воды (0,1%). Суточные колебания температуры превышают 100° С: на экваторе днем — около 10-20°, а на полюсах — порядка -100°. Большие различия температуры наблюдаются между дневной и ночной сторонами планеты: от 10-30 до -120°С. На высоте около 40 км Марс окружен озоновым слоем. Имеющаяся на Марсе атмосфера весьма разрежена и прозрачна. В газовой оболочке содержится много углекислого газа и очень мало кислорода и водяных паров. Астрономы часто наблюдают в атмосфере планеты голубоватые и желтые облака. Первые, возможно, состоят из водяных паров, вторые – из мелкой пыли, вздымающейся во время бурь.

Масса Марса 0,64-10 г, радиус — 3394 км, средняя плотность — 3,94 г/см^3, ускорение силы тяжести — 3,71 м/с^2. Межпланетные советские станции обнаружили на Марсе собственное дипольное магнитное поле слабой интенсивности (на экваторе оно в 500 раз слабее земного).

Поверхность Марса изрыта многочисленными кратерами вулканического и метеоритного происхождения. Перепады высот поверхности в среднем составляют 12-14 км, но огромная кальдера вулкана «Нике Олимпикс» (Снега Олимпа) возвышается над окружающей поверхностью на 24 км. Диаметр его основания равен 500 км, а кратера — 65 км. Некоторые вулканы являются действующими. Поверхность Марса – почти безводная

обширная пустыня красноватого цвета. На поверхности планеты можно заметить множество деталей, что позволило составить довольно подробные карты, даже глобусы Марса. Американские станции «Маринер-6», «Маринер-7» и «Маринер-9», а также советская автоматическая межпланетная станция «Марс-3» дали большой материал для характеристики поверхности планеты. Были сфотографированы обширные ее участки, многие из которых оказались покрытыми цирками и кратерами, как на Луне.

На снимках Марса найдены следы как ударно-метеоритной, так и вулканической активности, следы многих процессов выветривания поверхности, перемещения и отложения наносов. На некоторых участках обнаружены горные хребты, вулканические конусы и купола. В иных местах видны глубокие каньоны с изрезанными оврагами. Встречаются также хаотические нагромождения каменных обломков. И хотя в настоящее время на Марсе вряд ли имеется вода в свободном виде, на его поверхности обнаружено множество образований, похожих на русла высохших рек. Возможно, эти русла проложены не водой, а бурными грязевыми потоками, образованными водами, скрытыми в глубине марсианской коры. Можно полагать, что основная часть запасов воды на Марсе сосредоточена в слоях вечной мерзлоты или громадных ледяных глыб, располагающихся на некоторой глубине.

Характерная особенность поверхности Марса — наличие огромных тектонических трещин (например, каньон Маринер длиной 4000 км и шириной 2000 км при глубине до 6 км), напоминающих земные грабены. Раньше, при наблюдении поверхности Марса с помощью телескопов, они принимались за каналы (с которыми связано особенно много загадок и споров), открытыми в 1877 г. В телескопы они выглядят как сложная сеть длинных прямых линий, образование которых связывалось с деятельностью текучих вод, а в наиболее смелых гипотезах их считали искусственными сооружениями. Однако теперь определенно можно сказать, что эти «каналы» не что иное, как оптическая иллюзия, возникающая при плохом изображении.. Зафиксированы также многочисленные и протяженные формы, напоминающие речные долины, местами дендровидного характера.

На поверхности Марса различаются районы, имеющие светлую окраску («материковые» районы, сложенные, очевидно, гранитами), желтый цвет («морские» районы, сложенные, очевидно, базальтами), белоснежный облик (ледниковые полярные шапки). Исследование горных пород с помощью рентгенофлуоресцентных анализаторов (на американских аппаратах «Викинг») позволило определить такое соотношение химических элементов: кремнезем — 13-15%, окислы железа — 12-16%, кальций — 3-8%, алюминий — 2-7%, магний — 5%, сера — 3%, калий, титан, фосфор, хром, никель, ванадий. В целом грунт Марса по составу сходен с вулканическими земными породами, но существенно обогащен соединениями железа. Плотность поверхностного грунта примерно равна земной (1,67-1,8 г/см^3). Органических образований на поверхности не обнаружено.

В приповерхностных слоях планеты (на глубине 50 см и более) грунты скованы вечной мерзлотой мощностью до 1 км, а в недрах температура достигает 800-1500° С. На сравнительно небольшой глубине температура грунта, следовательно, должна находиться в интервале 15-25° С, а вода может быть в жидком состоянии. В этих условиях могут существовать простейшие живые организмы, следы жизнедеятельности которых не найдены.

Красноватый цвет поверхности Марса обусловлен, скорее всего, гематитизацией и лимонитизацией (окислением железа) горных пород. Но для этого нужны вода и кислород, которые, очевидно, поступают из-под грунтов при прогревании поверхности в дневное время или теплыми газовыми эксгаляциями, которые растапливают мерзлоту. Белый цвет полярных шапок, вероятно, объясняется выпадением замерзшей углекислоты и, может быть, водяного льда.

По-прежнему открытым остается вопрос о жизни на Марсе. Условия планеты не исключают возможность существования на ней микроорганизмов, простейших растений и других биологических образований. Выяснение этого и других вопросов стоит на повестке дня современных космических исследований

У Марса есть два спутника — Фобос и Деймос. Первый — более крупный, 27-21-19 км; его орбита проходит всего в 5000 км от планеты. Деймос имеет размеры 15-12-11 км; его орбита расположена выше, в 20 000 км от поверхности Марса. Судя по

фотографиям корабля «Маринер-9», оба спутника являются осколками астероидов.

Совершенно иные свойства у следующих планет – Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна.

Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун сильно отличаются от планет земной группы. Большое расстояние этих планет от Солнца позволило им сохранить значительное количество первичного водорода и гелия, потерянных планетами земной группы под воздействием «солнечного ветра» и из-за недостаточности гравитационных сил. Хотя плотность вещества внешних планет сравнительно невелика (0,7-1,8 г/см^3), объемы и массы их огромны. Самым крупньм является Юпитер, по объему в 1300, а по массе более чем в 318 раз превосходящий Землю. За ним следует Сатурн, масса которого в 95 раз превышает массу Земли. В этих двух планетах сосредоточено 92,5% массы всех планет Солнечной системы (71,2% у Юпитера и 21,3% у Сатурна). Замыкают группу удивительных внешних планет два гиганта-близнеца — Уран и Нептун. Поперечник второго всего на 3827 км больше диаметра Урана, а по объему любая из них превосходит Землю в десятки раз.

Среди планет-гигантов первое место принадлежит Юпитеру. Диаметр его в 11 раз больше земного; от Солнца он находится в 5 раз дальше, чем Земля.

Юпитер, с его характерными, давно известными пятнами и полосами на поверхности, которые параллельны экватору и имеют изменчивые очертания, является самой доступной для исследования планетой. Масса Юпитера ($1{,}9 \cdot 10^{30}$ г) лишь на два порядка меньше солнечной. Среднее гелиоцентрическое расстояние — 778,34 млн. км, период обращения вокруг Солнца — 11,86 земных лет, осевая скорость вращения — 9 ч 58 мин, причем ось почти перпендикулярна к плоскости орбиты. Радиус Юпитера по верхней кромке атмосферы — 71 359 км. Средняя плотность, исходя из его водородно-гелиевого состава, 1,35 г/см^3, но наличие твердого тела не исключается. Ускорение силы тяжести равно 25,8 м/с^2.

Юпитер обладает мощной атмосферой и сильным магнитным полем (в 10 раз сильнее земного), что определяет окружение планеты мощными радиационными поясами из протонов и электронов, захваченных магнитным полем Юпитера

из «солнечного ветра». Состав атмосферы исследован космическими аппаратами по ее верхней кромке. Она содержит 77% молекулярного водорода, около 23% гелия и разнообразные примеси типа метана, аммиака, окиси углерода, паров воды, молекул фосфина, гидрида германия, цианистого водорода, а также других соединений. Присутствие этих веществ, возможно, является следствием ассимиляции разнородного материала из Космоса. Расслоенная водородно-гелиевая масса достигает толщины 4000 км и, вследствие неравномерного распределения примесей, образует полосы и пятна.

Огромная масса Юпитера предполагает наличие мощного жидкого или полужидкого ядра астеносферного типа, которое может быть источником вулканизма. Последним, по всей вероятности, объясняется существование Большого Красного Пятна, наблюдения за поведением которого ведутся с XVII в. Температура верхних слоев атмосферы по измерениям равна -130°С, в нижних она может достигать 1000°С. При наличии полужидкого или твердого тела-ядра на планете должен быть сильный парниковый эффект.

По мнению ряда ученых. Юпитер выполняет в нашей Солнечной системе роль своеобразного «пылесоса» — его мощное магнитно-гравитационное поле перехватывает блуждающие во мраке Вселенной кометы, астероиды и другие тела. Наглядным примером этого явился захват и падение на Юпитер кометы «Шумейкер — Леви-9» в 1994 г. Сила притяжения оказалась настолько большой, что комета раскололась на отдельные обломки — огромные глыбы льда и горных пород, которые со скоростью свыше 200 тыс. км/ч врезались в атмосферу Юпитера. Каждый взрыв достигал мощности в миллионы мегатонн, а наблюдатели с Земли видели пятна взрывов и расходящиеся волны возбужденной атмосферы. Эти события середины 1994 г. были заранее предсказаны и потому достаточно хорошо изучены

Юпитер имеет 16 спутников. Четыре самых крупных: Ганимед, Каллисто, Ио, Европа — носят название Галилеевых. Их поперечники больше, чем у Луны и Меркурия, и равны, соответственно, 5262, 4800, 3630 и 3140 км; периоды обращения вокруг планеты составляют от 2 до 12 суток; располагаются они на расстоянии от 1881 до 422 км от поверхности Юпитера. Исследовавшие окружение планеты космические аппараты

установили, что спутники сложены твердым каменным материалом, видимо, силикатного типа. На них обнаружены действующие вулканы, следы льдов и, возможно, жидкостей, среди которых предполагают даже присутствие воды.Например, на спутнике Ганимед с расстояния в 7 тыс. км видны испещренные старыми кратерами ледовые пространства, а также более молодые долинообразные понижения и цепи ледников со следами вулканической деятельности. Удивительно обнаружение на Ганимеде собственной магнитосферы — это как бы одна магнитосфера внутри другой, юпитерианской. Такое явление может свидетельствовать о наличии у спутника железного ядра. Сила притяжения на Ганимеде, который по величине равен 3/4 Марса и больше Луны, примерно в 6,5 раза меньше земной. На спутнике Европа виден ледяной панцирь, покрывающий всю поверхность, и его разрывы и расколы, возникшие под действием гравитационных сил Юпитера. На отдельных снимках, а их американская космическая лаборатория «Галилео» сделала с расстояния 692 км, просматриваются плавающие льдины — айсберги. Поэтому под ледовым панцирем предполагается наличие океана. В ряде мест отмечены многокилометровые ледяные потоки—ледники и признаки вулканической деятельности. Повторные снимки подтвердили полученную картину и породили у исследователей мысль о возможности существования здесь какой-то жизни.

Сатурн – в 10 дальше Земли от Солнца. Эта «окольцованная» планета, представляет не меньший интерес, чем Юпитер. Его масса 5,68-Ю^{29} г, радиус 60 400 км с атмосферой и 20 765 без нее. Средняя плотность, рассчитанная по видимому радиусу, очень низкая — 0,7 г/см^3, без атмосферы она порядка 5,85 г/см^3. Толщина атмосферного слоя оценивается в 37-40 тыс. км. Гелиоцентрическое расстояние Сатурна — 1427 млн. км, период обращения на орбите — 29,5 земных суток, скорость обращения вокруг оси — 10ч 14 мин, наклон оси к плоскости — 26°. Существенной особенностью Сатурна является наличие кольца, расположенного выше облачного слоя атмосферы. Наружный его диаметр — 274 тыс. км, что почти вдвое больше диаметра планеты; толщина кольца около 2 км. Наблюдениями с космических станций было установлено, что кольцо состоит из ряда мелких колец, находящихся на разном удалении друг от друга. Вещество колец

представлено твердыми обломками, скорее всего, силикатных пород и ледяных глыб, размером от пылинки до нескольких метров. Природа колец неясна. Общая масса их вещества определяется в 0,01 массы Луны.

Магнитное поле Сатурна по напряженности почти вдвое меньше земного. Ось диполя почти точно совпадает с осью вращения планеты. Полярность поля Сатурна противоположна полярности земного поля.

У Сатурна 17 спутников. Самый далекий из них — Феба (диаметр 110 км) находится в 13 млн. км от планеты и оборачивается вокруг нее за 550 дней. Самый близкий — Мимас (диаметр 195 км) располагается в 185,4 тыс. км и делает полный оборот за 2266 ч. Этот спутник вращается внутри колец Сатурна, влияя на их движение, причем сам перемещается в обратном направлении — навстречу вращению планеты. Его поверхность разбита гигантским кратером, диаметром свыше 100 км. На самом большом спутнике Сатурна — Титане (диаметр 5150 км) обнаружена достаточно плотная атмосфера, а поверхность его покрыта льдом. Такие же поверхности имеют другие крупные спутники: Рея (диаметр 765 км), Тефил (525 км) и Диона (560 км). Лед может быть водяного состава, а также метанового и аммиачного; последние газы вероятнее. Повторные наблюдения в 1996 г. установили, что в атмосфере Титана преобладает азот, но есть метан и другие газы. Атмосферное давление здесь в 1,5 раза больше земного, а средняя температура поверхности порядка -180°С. Загадкой является присутствие углеводородов на спутниках Сатурна, а возможно, и на самой планете.

Уран удален от Солнца на 2869 млн. км. Это в 19 раз дальше Земли от Солнца, Период его обращения — 84 земных года, осевое вращение осуществляется за 10 ч 49 мин; средняя плотность с атмосферой — 1,35 г/см^3, расчетная плотность твердого тела — 5,55 г/см^3 (предположительно оно имеет радиус 15 600 км). Мощность атмосферы оценивается в 8500 км. Масса планеты — $84{,}9 \cdot 10^{27}$ г,

Ось вращения Урана расположена почти в плоскости орбиты — отклонена от вертикали на 98°, т. е. планета как бы лежит на своей орбите. Уран обладает магнитным полем, полярность которого противоположна земной, а напряженность меньше земной.

В плотной атмосфере Урана обнаружены кольцевые образования, пятна, вихри, струйные течения, что свидетельствует о неспокойной циркуляции воздушных масс. Направления ветров в основном совпадают с вращением планеты, причем в высоких широтах ветры сильнее. Зеленовато-голубой цвет холодной атмосферы Урана может быть обусловлен наличием радикалов гидроксида [OH"]. Содержание гелия в атмосфере около 15%. В глубине атмосферы обнаружены метановые облака.

У планеты установлены 10 колец шириной от нескольких сотен метров до нескольких километров, белого и зеленовато-голубого цвета. Большинство частиц в кольцах около 1 м в диаметре. Внутри колец движутся каменные глыбы неправильной формы, диаметром 16-24 км, названные спутниками-пастухами. Вероятно, это астероиды.

Уран имеет 15 спутников. Пять из них значительных размеров, от 1580 до 470 км в диаметре, остальные — менее 100 км; все они похожи на астероиды, захваченные гравитационным полем Урана. Три больших спутника: Умбриэль (1170 км в диаметре), Ариэль (1160 км) и Миранда (470 км) — располагаются в пределах магнитосферы Урана, создавая в ней возмущения. Фотографии показывают, что спутники имеют шаровидную форму; на поверхности некоторых из них замечены гигантские линейные полосы — трещины, возможно, следы скользящих ударов метеоритов.

Нептун, самая удаленная от Солнца реальная планета, вращается на расстоянии 4,5 млрд. км от него, делая полный оборот за 165 земных лет. системы. Это в 30 раз дальше Земли от Солнца. Общий радиус планеты — 22 870 км, радиус расчетного твердого тела порядка 16 тыс. км, мощность атмосферы около 7 тыс. км. Средняя плотность с атмосферой — 2,2 г/см^3, плотность твердого тела — 5,6 г/см^3, масса планеты — $10 \cdot 10^{27}$ г. Осевая скорость вращения — 15 ч 8 мин, ось вращения наклонена к плоскости орбиты под углом 29°. Облака атмосферы в основном образованы метаном. Американский космический аппарат «Вояджер-2» (ныне уже покинувший пределы Солнечной системы), пройдя в 5 тыс. км от планеты, обнаружил у нее второе кольцо, состоящее, как и первое, из каменных обломков темного цвета.

В верхних слоях атмосферы установлены потоки ветра, несущегося со сверхзвуковой скоростью. Это означает существование в атмосфере градиентов температуры и давления, вызванных, видимо, внутренним нагревом со стороны планеты, что может свидетельствовать о происходящих вулканических процессах. Нептун имеет 8 спутников, все каменные. Три из них значительных размеров:

Тритон (диаметр 2700 км). Нереида (340 км) и Протей (400 км); остальные меньше — от 50 до 190 км. Тритон, ближайший к Нептуну спутник, по размерам больше половины Меркурия и равен почти 2/3 Луны, движется вокруг своей планеты в обратном направлении на расстоянии 353,6 тыс. км. Орбита Нереиды проходит в 5,6 млн. км от Нептуна, полный оборот спутник совершает за 360 земных суток. У Нереиды самая вытянутая эллиптическая орбита из всех спутников Солнечной

Таким образом, планеты – гиганты резко отличаются от планет земной группы и по своим характеристикам, и по удаленности от Солнца. Столь огромные расстояния, измеряемые сотнями миллионов и миллиардами километров, сказываются и на продолжительности периодов их обращения вокруг Солнца (составляющих соответственно 12, 29, 84 и 165 земных лет) и на физических условиях, господствующих на этих планетах. Так, температура их на 100– 200 градусов ниже средней земной, атмосферы отличаются высоким содержанием легчайших газов – водорода и гелия. По-видимому, и в твердом веществе гигантов преобладают легкие химические элементы, так как все эти планеты имеют очень незначительную плотность: средняя плотность Юпитера – 1,3, Сатурна – всего 0,7, т.е. даже меньше плотности воды. Другая особенность планет-гигантов – их быстрое вращение вокруг своей оси. Продолжительность суток на Юпитере, Сатурне и Уране составляет всего 10-11 часов, на Нептуне – около 16 часов. Столь быстрое вращение сказывается на форме этих планет: они сплюснуты сильнее, чем Земля. Любопытно, что ось вращения Урана почти совпадает с плоскостью орбиты – планета движется, «лежа на боку». Это обстоятельство создает совершенно необычайные условия освещенности. На Уране, в отличие от других планет, нет деления на полярные и тропические зоны: Солнце периодически бывает здесь в зените и над экватором, и над полюсами. Правда, из-за огромной удаленности от Солнца такое

положение не имеет существенного значения для температурного режима на поверхности планеты. Температура на планете Уран не поднимается выше минус 200 градусов. Поверхности планет-гигантов пока недостаточно исследованы: мощные атмосферы, насыщенные непрозрачными облаками, затрудняют их изучение. Атмосферы гигантских планет имеют совершенно иную структуру и химический состав, чем земная. Да и физические условия там никак не напоминают земные. Очевидно, сказывается различие в размерах небесных тел. Впрочем, размеры твердого тела планет измерить трудно – ведь мы видим только их обширную газовую оболочку. Особенно хорошо ее можно наблюдать у Юпитера. Даже в небольшой телескоп на нем видны темные полосы, пересекающие планету параллельно экватору. Астрономам удалось выяснить, что в атмосферах планет-гигантов содержится значительное количество метана и аммиака. Вместе с тем, как уже отмечалось выше, для этих планет характерно присутствие водорода и гелия. Низкая температура и высокое давление, присущие их атмосферам, приводят к тому, что внутренние газовые слои сгущаются настолько, что постепенно переходят в твердое состояние, образуя тело самой планеты. Что касается плавающих в атмосферах облаков, то они могут состоять только из замерзших кристалликов аммиака – соединения водорода с азотом. Так внешне выглядят планеты-гиганты. Значительно труднее выяснить их внутреннее строение. Советские ученые - академик В.Г. Фесенков и доктор физико-математических наук А.Г. Масевич, изучая недра Юпитера и Сатурна, пришли к любопытным выводам. Согласно их расчетам, на незначительной глубине твердого тела Юпитера давление достигает 700 тысяч атмосфер. При этом водород приобретает удивительные металлические свойства. С глубиной давление там достигает огромной цифры – 20 миллионов атмосфер! Вместе с радиоактивным разогревом такое давление доводит температуру недр до 200 тысяч градусов! Это превышает температуру всех других планет, но еще далеко не достигает температур, господствующих в недрах звезд. Юпитер, по существу, небесное тело, занимающее промежуточное положение между планетой и звездой. И остальные планеты-гиганты близки ему по своей природе.

Последняя из известных нам планет – Плутон – царство холода и ночи. Он получает тепла и света в 1600 раз меньше, чем Земля, и потому, безусловно, представляет собой мрачную безжизненную пустыню. Плутон, самая дальняя из известных планет, отнюдь не принадлежит к планетам-гигантам. Скорее всего, это даже не планета, а бывший спутник Нептуна, потерянный им при каком-то космическом катаклизме. Поперечник Плутона около 3000 км, а масса в 10 раз меньше земной. Быстро вращаясь вокруг оси (за 9 часов 17 земных минут), Плутон имеет сильно вытянутую эллиптическую орбиту, и потому с 1969 по 2009 г. он будет находиться ближе к Солнцу, чем Нептун, — факт, может быть, дополнительно говорящий о его «непланетной» природе. Поверхность Плутона предполагается ледяной.

Таковы основные известные на начало 1997 г. сведения о планетах Солнечной системы и их спутниках. Материл крайне разнообразный, во многом не проанализированный из-за отрывочности и неполной достоверности информации и методов дешифрирования данных дистанционных наблюдений.

Весьма любопытным представляется установление каменно-силикатного состава практически всех обнаруженных спутников, даже тех, которые принадлежат газово-жидкостным планетам-гигантам, хотя, вероятно, и с твердыми ядрами. Эти разноразмерные тела могут быть астероидами, захваченными силой гравитационных полей планет, и тогда они чужеродны своим «родителям». Но они могут быть и практически одновременными образованиями и тогда характеризуют особенности планетной системы в целом, иногда подчеркивая специфику, не установленную на планетах-хозяевах. Такой единственный спутник есть даже у «псевдопланеты» Плутон — это Харон (диаметр 1190 км), с орбитой, проходящей в 19 тыс. км от планеты, и периодом обращения 6,3 земных суток.

Обратим внимание, что, судя по движению планеты Плутон, исследователи предполагали наличие еще одной (десятой) планеты Солнечной системы, настолько удаленной и малой, что ее не удавалось обнаружить визуально. И вот в конце 1996 г. появилось сообщение о том, что американским астрономам из Гавайской обсерватории удалось открыть состоящее из ледяных глыб небесное тело, которое вращается по околосолнечной

орбите за пределами Плутона. Эта малая планета пока не имеет названия и зарегистрирована под номером 199611,66.
Все имеющиеся данные о строении и функционировании космических тел нашей Вселенной важны для познания ее истории, расшифровки эволюции каждой планеты, а главное — для понимания возникновения и развития географической оболочки Земли, возможных путей ее эволюции. Они играют важную роль также в установлении космологической истории мира: как и когда возникали планетные скопления в Космосе; как они развивались и функционировали; что их и нас на Земле ожидает в будущем; уникальна ли жизнь во Вселенной или она существует и в других мирах?

В Солнечной системе есть и много малых планет – *астероидов.* Несмотря на свою многочисленность, они в общей сумме не превышают одной тысячной доли массы земного шара. Самая крупная из малых планет – *Церера* – имеет поперечник около 1000 километров. Большинство же других астероидов – это каменные бесформенные глыбы поперечником в несколько тысяч, даже сотен метров. Громадное количество астероидов движется в зоне, ограниченной орбитами Марса и Юпитера. Ее так и называют – «пояс астероидов». Однако некоторые из них, нарушая общий порядок, «смело» подходят к планетам, движущимся вне этой зоны, в том числе к Земле. Таков, например, астероид *Эрот,* приближающийся к нам на 26 миллионов километров. Еще ближе подходит к земле *Икар,* в момент последнего свидания с Землей – 14 июня 1968 г. – его отделяло от нашей планеты всего 6,4 миллиона километров. Астероид было видно даже в небольшие телескопы. А крошечная планета *Гермес,* имеющая поперечник около 2 километров, может сближаться с Землей до 580 тысяч километров. К сожалению, следить за столь малыми небесными телами очень трудно: их орбиты подвержены весьма сильным возмущениям со стороны больших планет и даже их собственных собратьев – более массивных астероидов.

Наиболее эфемерными космическими телами, входящими в состав Солнечной системы, являются *кометы,* движущиеся вокруг Солнца по сильно вытянутым эллиптическим орбитам. Имея незначительную массу, они ничем не обнаруживают себя, когда находятся вдали от Солнца. Но по мере приближения к нему твердое ядро кометы, состоящее из каменных и

металлических тел, заключенных в ледяную оболочку из замерзших газов, начинает испаряться, образуя огромный газовый шлейф – хвост, достигающий длины сотен миллионов километров. Давление световых лучей и потоки электрических частиц, исходящих от Солнца (так называемый солнечный ветер), отклоняют кометные хвосты в противоположную от светила сторону. Эти же частицы вызывают свечение разреженного газа в хвостах комет. Некоторые кометы достигают большой яркости – тогда они привлекают к себе всеобщее внимание. В прежние времена кометы воспринимались как небесное знамение. Большие кометы остаются видимыми на небе в течение нескольких недель, затем, облетев Солнце, они постепенно удаляются и исчезают. Многие кометы имеют сравнительно небольшой период обращения – всего несколько лет, поэтому их можно регулярно наблюдать в течение десятилетий, даже столетий. Такова, например, комета *Энке-Баклунда,* наблюдаемая через каждые 3,3 года. Одна из наиболее ярких и знаменитых комет – комета *Галлея* – имеет период обращения 76 лет. Ее появление зарегистрировано в летописях более 20 раз. Комета наблюдалась в 1910 г. и в 1986 г. Очевидно, имеются кометы с периодом, охватывающим многие тысячелетия. Орбиты таких комет выходят далеко за пределы орбиты Плутона, т.е. простираются на миллиарды и десятки миллиардов километров. Общее число комет неисчислимо велико, и нам пока известна только их небольшая часть. Возможно, что существует целое облако комет, опоясывающее Солнечную систему. Вопрос о происхождении комет еще не совсем ясен. Быть может, это остатки допланетного вещества, из которого возникли планеты Солнечной системы. Но есть и другие мнения. Согласно выводам советского ученого С.К. Всехсвятского, поставщиками комет могут служить планеты-гиганты и прежде всего Юпитер: мощные извержения, происходящие на нем, могут придавать продуктам извержения космические скорости, пополняя тем самым число комет в Солнечной системе. Несмотря на обилие комет, большие и яркие кометы появляются крайне редко. Слабые же кометы можно видеть ежегодно.

Кроме перечисленных объектов, в Солнечной системе встречаются *метеориты* и *облака космической пыли.* Недавно, например, ученые объявили, что открыли вблизи Луны два

небольших таких облака. Такова в общих чертах картина Солнечной системы – того уголка космоса, с которым так тесно связана вся наша жизнь.

Теории образования планет

Один из центральных вопросов, связанных с изучением нашей планетной системы, – *проблема ее происхождения.* Как возникла семья небесных тел, обращающихся вокруг Солнца? Ответ на этот вопрос имеет не только важное естественно-научное, но и мировоззренческое, философское значение. На протяжении веков ученые пытались выяснить прошлое, настоящее, будущее Вселенной. Нередко их представления были в той или иной степени связаны с господствовавшими религиозными воззрениями. Но уже в глубокой древности зародилась мысль, что Вселенная не была создана никем из богов. Она всегда существовала и будет существовать. Одни миры возникают, развиваются, другие – разрушаются и умирают, Земля, как и другие миры, сформировалась в результате естественных причин.

Однако такие гениальные догадки настолько опережали эпоху, что не могли быть восприняты современниками. В споре о путях происхождения и развития Земли и планет столкнулись два прямо противоположных и непримиримых суждения о том, что лежит в основе мироздания – дух или вечно существующая материя? Создан ли мир богом или он существует вечно?

В отличие от идеалистов, утверждающих первичность духа и считающих мир продуктом творения высшего разума (бога), материалисты признают первичность материи. Подтверждая свои выводы практикой исследований и наблюдений, основываясь на повседневном опыте, материалисты доказывают, что планеты, в том числе и Земля, могли возникнуть лишь из других форм материи, т.е. сформировались естественным путем. В наше время все значительные космогонические гипотезы являются последовательно материалистическими.

Согласно современным представлениям, планеты Солнечной системы образовались из *холодного газопылевого*

облака, окружавшего Солнце миллиарды лет назад. Наиболее последовательно такая точка зрения проведена в работах советского ученого академика О.Ю. Шмидта. До сих пор планетная космогония рассматривалась как чисто астрономическая проблема, а Шмидт показал, что проблемы космогонии можно решить лишь согласованными усилиями астрономии и наук о Земле, прежде всего геофизики, геологии, геохимии. Такой подход значительно укрепил наблюдательную базу космогонии, предоставив в ее распоряжение обширные фактические данные наук о Земле.

В основе теории О.Ю. Шмидта лежит мысль об образовании планет путем объединения твердых тел и пылевых частиц. Возникшее около Солнца газопылевое облако вначале состояло на 98% из водорода и гелия. Остальные элементы конденсировались в пылевые частицы. Однако беспорядочное движение газа в облаке быстро прекратилось: оно сменилось спокойным обращением облака вокруг Солнца.

Пылевые частицы сконцентрировались в центральной плоскости, образовав слой повышенной плотности. Когда плотность слоя достигла некоторого «критического» значения, его собственное тяготение стало «соперничать» с тяготением Солнца. Слой пыли оказался неустойчивым и распался на отдельные пылевые сгустки. Сталкиваясь друг с другом, они образовали множество сплошных плотных тел. Наиболее крупные из них приобрели почти круговые орбиты и в своем росте начали обгонять другие тела, став потенциальными зародышами будущих планет. Как более массивные тела, новообразования присоединили к себе оставшееся вещество газопылевого облака. В конце концов сформировалось девять больших планет, движение которых по орбитам остается устойчивым на протяжении миллиардов лет. По произведенным расчетам, 98% своей массы Земля приобрела за 100 миллионов лет.

Таким образом, почти круговые орбиты планет явились результатом осреднения орбит тел, объединившихся в планеты. Деление планет на две группы связано с тем, что в далеких от Солнца частях облака температура была низкой, и все вещества, кроме водорода и гелия, образовали твердые частицы. Среди них преобладали метан, аммиак и вода, определившие состав Урана и Нептуна. В составе самых

массивных планет – Юпитера и Сатурна, кроме того, оказалось значительное количество газов (рис.3.2).

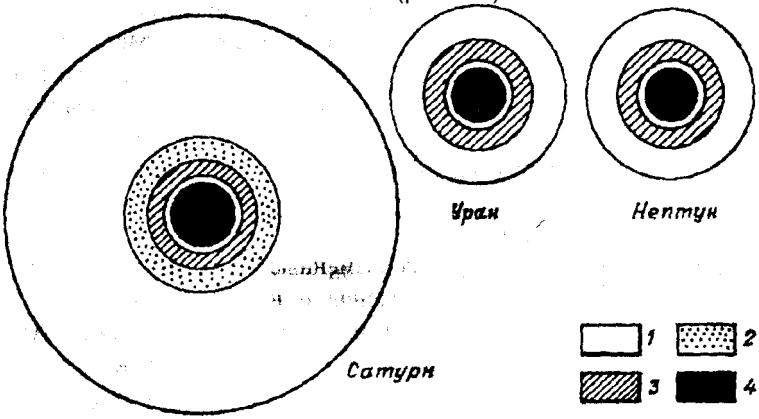


Рис.3.2. Внутреннее строение и предполагаемый вещественный состав некоторых планет-гигантов: 1- молекулярный водород; *2* - металлический водород; *3* - водяной лед; 4 - ядро, сложенное из каменных или железокаменных материалов

В области планет земной группы температура была значительно выше, и все летучие вещества (в том числе метан и аммиак) остались в газообразном состоянии и, следовательно, в состав планет не вошли. Планеты этой группы сформировались в основном из силикатов и металлов (рис.3.3).

Научная теория происхождения Солнечной системы подтверждается многочисленными наблюдениями. Однако сейчас мы еще не можем сказать, что процесс образования планет досконально изучен. Например, рассматриваемая теория не учитывает влияния электромагнитных явлений, которые, оказалось, играют определенную роль в формировании космических тел. Выяснение этого и некоторых других вопросов – дело будущего.

Таким образом, в настоящее время считается, что планеты возникли в результате объединения твёрдых тел и частиц, образовавшихся во вращающемся вокруг Солнца гигантском протопланетном облаке, состоящем из газа и пыли. Температура в облаке составляла около 1000 К.

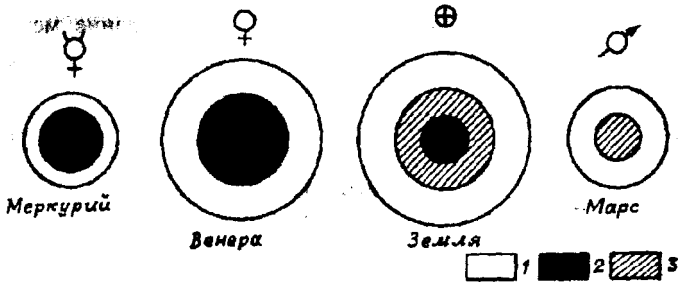


Рис.3.3. Строение и предполагаемый вещественный состав планет земной группы: 1- силикатное вещество; 2- металлическое; 3 - сульфид-металлическое вещество.

Протопланетное облако образовалось в каком-то совместном процессе, механизм которого до сих пор является предметом дискуссии. Но данные геофизики, исследования метеоритов, лунного грунта содержат некоторые доказательства этой гипотезы.

Протопланетное облако содержало газ «звёздного» состава (водород и гелий) и пыль из более тяжёлых элементов. Сжимающееся облако увеличивало скорость вращения, а это создавало благоприятные условия для преимущественного сжатия вдоль оси вращения и накопления пылинок в средней области облака. Тонкий пылевой слой гравитационно неустойчив. Поэтому он распадается на множество сгустков, превратившихся в рой твёрдых тел. Сначала это были тела сравнительно небольшие по массе и размерам, двигавшиеся по орбитам, близким к круговым. Но по мере роста масс увеличивалось взаимное притяжение тел, возрастали их относительные скорости, приобретали эллиптическую форму орбиты. В процессе многочисленных неупругих столкновений и объединений (слипаний) образовались зародыши планет.

Массы зародышей резко отличались от масс других тел, находившихся вблизи них и образовавших для зародышей своеобразную зону питания. Сначала было очень много таких зародышей и окружавших их зон питания. Но постепенно среди этих зародышей стали выделяться те, которые впоследствии стали настоящими планетами. Такие массивные и двигавшиеся

почти по круговым орбитам сверхзародыши получались путём объединения ранее возникших зародышей и обобществления их зон питания.

Уменьшение числа зародышей и появление сверхзародышей происходили до тех пор, пока возникающие крупные и массивные тела не оказались на таких расстояниях, где взаимное притяжение не могло уже существенно изменить их орбиты. Эти безопасные расстояния и стали залогом устойчивости будущей Солнечной системы. Формирование спутников планет, в том числе и нашей Луны, в общих чертах, было сходным процессом. Планетам земной группы и планетам-гигантам понадобилось различное время для своего роста. Например, по некоторым оценкам, наша планета выросла за 100 миллионов лет. Планеты - гиганты росли дольше. Это прежде всего связано с наложением зон питания, т.е. с появлением объединённых зон питания протоюпитера и протосатурна, а затем и других будущих планет- гигантов. По мере роста массы протоюпитера тела из его зоны питания начали долетать до протосатурна, а затем, примерно через 150 миллионов лет после начала формирования планет, и в самые отдалённые области планетной системы, а также до орбиты уже сформировавшегося Марса. На определённой стадии своего роста будущие планеты-гиганты, особенно Юпитер, не только «простреливали» телами из своих зон питания Солнечную систему, но и сообщали телам скорости, близкие к параболическим, и выбрасывали их за пределы планетной системы.

При рассмотрении роста сверхзародышей планет-гигантов надо учитывать процесс захвата ими газа, образующего вторую составляющую допланетного облака, собравшегося за пределами орбит планет земной группы. Газ в зонах питания Юпитера и Сатурна вначале тормозил движение тел, уменьшая их относительные скорости, и тем самым задерживал скорость роста зародышей. Но когда зародыши выросли настолько, что могли увеличивать свою массу за счёт захвата (аккреции) газа, преимущественно водорода, их рост ускорился. Некоторая часть газа покинула пределы Солнечной системы.

Направление движения планет вокруг Солнца и различные наклоны осей планет к плоскости эклиптики объясняются следствием роста протопланетных тел. Тела и частицы, падая

на формирующуюся планету, передавали ей момент количества движения. Следовательно, направление движения планеты вокруг Солнца есть результирующий момент количества движения множества падений. Преобладающее в Солнечной системе прямое движение планет отражает характер общего вращения тел и частиц вокруг Солнца ещё до возникновения планет. В статистическом процессе усреднения моментов количества движения отдельных тел и частиц могли появиться и аномалии, результатом которых стало обратное движение Венеры. Различные наклоны осей планет в настоящее время объясняют падением крупных тел на зародыши. По наблюдаемым наклонам осей планет удалось оценить массы тел, падавших на зародыши. Так, например, массы тел, участвовавших в формировании Земли, примерно в тысячу раз меньше нынешней массы нашей планеты. Массы тел, падавших на Уран и определивших положение в пространстве оси этой планеты, были сравнимы с массой Земли.

Конечно, не только механические процессы сопровождали стадии образования планет. Сложные переплетения различных физических процессов (тепловые, магнитогидродинамические и др.) участвовали в образовании и эволюции планетной системы. Так, например, крупные массы тел, падая на относительно холодную Землю и глубоко врезаясь в неё, разогревали нашу планету до температуры 1500 К в области верхней мантии. Такой разогрев оказался сильнее, чем это могло произойти за счёт энергии других механических (гравитационное сжатие, приливные воздействия Луны) и немеханических (распад радиоактивных элементов) процессов. Наша Земля росла не просто тихо и холодно, сталкиваясь с небольшими метеоритами, а испытывала мощные удары, разогревалась, частично плавилась, изменяла свою структуру, с юности формировала ядро и оболочки. В настоящее время Земля имеет расплавленное железно-никелевое ядро. Вещества, содержащие более лёгкие элементы (кремний, магний, кальций и др.), постепенно поднимались вверх, образуя мантию и кору Земли. Самые лёгкие элементы вошли в состав океана и первичной атмосферы Земли. Состав атмосферы постепенно изменялся: улетучились самые лёгкие водород и гелий, в результате фотосинтеза появился кислород.

Эволюция атмосферы Земли имеет прямое отношение к тем условиям (температура, наличие воды), которые существуют на Земле сейчас и необходимы для развития жизни на нашей планете. На ближайших планетах Солнечной системы ситуация совершенно другая. На Земле есть вода, в атмосфере много кислорода, средняя температура $+15^{o}$ С. На Венере и Марсе сейчас свободной воды нет (на Марсе вода, возможно, есть в подповерхностном слое вечной мерзлоты), состав воздуха не пригоден для дыхания земных обитателей. Средняя температура на Марсе -60^{o} С, на Венере $+460^{o}$ С.

Всегда ли было так? Не исключено, что в прошлом состав атмосферы на планетах земной группы был иным. В частности, большое значение могло иметь содержание углекислого газа, от которого во многом зависит парниковый эффект. Чем больше диоксида углерода в атмосфере, тем больше может разогреваться атмосфера и поверхность планеты в результате парникового эффекта. Углекислый газ, как и пары воды, пропускает солнечные лучи, но поглощает и переизлучает тепловое излучение поверхности Земли. Количество углекислого газа может изменяться за счёт поступления в атмосферу из карбонатных пород или вывода из неё. На Земле даже происходит длительный, порядка 500 тысяч лет, геохимический цикл, в ходе которого углекислый газ из атмосферы переходит в твёрдые породы, а потом из них снова в воздух. Такой цикл «работает» на Земле, а на Венере и на Марсе он нарушился. В результате этого Марс потерял возможность возвращать углекислый газ в атмосферу, а Венера – выводить его из атмосферы.

Планета, на которой мы живем – Земля, из космоса видна как небольшой голубой шар. Это уникальная планета, хотя бы потому, что именно на ней возникла, развилась до современных форм жизнь. Поэтому рассмотрим подробнее некоторые характеристики Земли.

Строение Земли

Современная наука о Земле рассматривает нашу планету как систему взаимодействующих друг с другом процессов, охватывающих органическую и неорганическую природу. Одни

из этих процессов протекают быстрее, другие медленнее, но состояние Земли в целом оказывается поразительно устойчивым. Ученые, изучающие Землю, работают с целой иерархией пространственных и временных масштабов. Размеры объектов исследования меняются от глобальных до микроскопических, объемы – от миллионов кубических километров до мельчайших межатомных пространств. Даже при решении одной конкретной задачи нередко приходится иметь дело с широчайшим диапазоном линейных масштабов. Например, землетрясение, вызванное смещением пород по разрыву на несколько сантиметров, возбуждает сейсмические волны, распространяющиеся в Земле на тысячи километров.

Протяженность геологических событий во времени изменяется от кратковременных явлений типа землетрясения, извержения вулкана или падения метеорита до процессов длительностью в тысячи (изменение полярности магнитного поля Земли, прецессия земной оси), миллионы (дрейф континентов) и даже миллиарды лет (формирование современной кислородной атмосферы).

К концу XX в. установился взгляд на Землю как на своеобразную самоорганизующуюся систему, подобную живому организму. Крупные составные части Земли, такие как атмосфера, океаны, кора, мантия и ядро, рассматриваются как сложная взаимодействующая система с циклической передачей вещества и энергии от одной части к другой. С этой точки зрения весь геологический этап истории Земли представляется не беспорядочным нагромождением фактов и событий, а отражением крупномасштабных циклов гигантской «машины».

Сравнение с машиной отражает одну из важнейших особенностей Земли: несмотря на все изменения на поверхности, наблюдаемые в самых разных масштабах пространства и времени, земные процессы в целом остаются удивительно постоянными.

Если «машина» работает уже миллиарды лет, то как она была устроена с самого начала? Через какой последовательный ряд устойчивых состояний она прошла, прежде чем приобрела свой современный вид?

Согласно современным представлениям о происхождении Солнечной системы, Земля оформилась до своих теперешних размеров около 4,5 млдр лет тому назад в результате двух

процессов: конденсации первичного протосолнечного газопылевого облака; аккумуляции и слияния планетезималей. Ранний геологический этап истории Земли проходил в условиях непрерывной аккреции (выпадания вещества извне) и быстрого роста температуры. Разогрев Земли был вызван одновременным воздействием трех факторов: распадом радиоактивных элементов, столкновениями с падающим материалом, контракцией (сжатием) тела молодой планеты. Рост температуры привел к плавлению и дифференциации вещества Земли с расслоением ее на ядро, мантию и кору.

Задача воссоздания истории Земли в ее ранние дни очень сложна, так как ни гор, ни осадков того времени не сохранилось. Отрывочные данные имеются лишь начиная с 4 млрд лет (возраст древнейших пород, обнаруженных на северо-западе Канады). Некоторые пробелы позволяют заполнить исследования Луны, где из-за отсутствие атмосферы и воды сохранились древнейшие породы, а также изучение планет, астероидов и метеоритов. Все эти данные в совокупности отчетливо свидетельствуют о том, что главные циклы, производимые геологической машиной, были близки к сегодняшним.

Как проявляются циклические процессы Земли? Через какое время повторяются циклы? В чем причина и движущая сила этих процессов?

Общий геологический цикл, который проходят горные породы, впервые был установлен Геттоном в конце XVIII в. Согласно Геттону, горные породы подвергаются выветриванию, что приводит к образованию осадка, который потом захороняется. При погружении на глубину осадочные породы испытывают метаморфизм и (или) плавление. Позже они деформируются и перемещаются вверх вместе с растущими горными цепями. однако лишь для того, чтобы снова подвергнуться выветриванию и совершить новый цикл. в геологическом цикле участвует вся земная кора, в него вовлечено также и вещество более глубоких слоев – мантии- до глубин в сотни километров. Несмотря на многочисленные споры относительно механизма, приводящего в действие цикл Геттона, его суть остается незыблемой. Современная теория тектоники плит фактически является дальнейшей разработкой этих идей.

Другим примером глобального цикла является гидрологический цикл – круговорот воды в природе. В гидрологическом цикле перенос вещества также осуществляется между разными частями и разными оболочками земного шара. Из одного огромного резервуара – атмосферы – вода выпадает на сушу и в море. Часть атмосферных осадков временно задерживается в виде грунтовых вод и в озерах. Остальная масса различными путями сбрасывается в другой гигантский резервуар - Мировой океан. Испаряясь с поверхности суши и моря, вода попадает обратно в атмосферу и тем завершает один оборот своего вечного цикла. Глобальный среднегодовой баланс воды весьма постоянен: всегда примерно одно и то же количество воды содержится в атмосфере, Мировом океане, полярных ледниковых покровах и на континентах. Однако в геологической истории Земли были периоды, когда баланс в глобальной системе несколько смещался. Одно из таких изменений связано с ледниковыми периодами, когда значительная часть воды из океана переходила в ледниковые покровы. Это приводило к перестройке общего баланса, в результате чего происходило резкое изменение климата, понижение уровня моря и осушение больших площадей континентального шельфа.

Еще один пример крупномасштабного переноса химических элементов от одной части Земли к другой дает так называемый *карбоновый цикл* – круговорот углекислого газа (двуокиси углерода) в атмосфере, океане и земной коре. Из атмосферы двуокись углерода поглощается растениями в процессе фотосинтеза. В результате создаются земные запасы углерода органического происхождения. Углерод удерживается в отмершем веществе растений и животных. Вновь образуемое богатое углеродом вещество захоронятся в виде осадков, входя в состав земной коры. В это же время в другом месте идет процесс размывания известняков и органического вещества. В результате окисления образуется углекислый газ, который снова возвращается в атмосферу, замыкая грандиозный цикл.

Изучать Землю не только невероятно интересно, но и важно, например, из экологических и экономических соображений, например, для извлечения из нее нефти, газа и других полезных ископаемых, образовавшихся в далеком прошлом в определенные геологические эпохи в определенных

местах; для расчета оставшихся ресурсов планеты и т.д. Естествоиспытатели стремятся понять, что, как и когда на Земле происходило, и на этой основе построить модели глобальных процессов. О ледниковых периодах, например, хочется знать и потому, что это позволит предсказать характер следующего оледенения, но и взглянуть, хотя бы краешком глаза, на условия жизни древнего человека. Моделирование глобальных катастроф не только позволяет воссоздать картину гибели динозавров 65 млн лет назад в результате падения крупного космического тела, но и рисует инфернальные последствия мировой ядерной войны.

Форма, размеры оболочки Земли

Александрийский ученый Эратосфен впервые определил радиус Земли.

По мере развития знаний о природе Земли продолжали совершенствоваться и знания о ее форме. После работ И. Ньютона появилось предположение, что ввиду осевого вращения земной шар должен быть сжат у полюсов. В XVIII в. удалось доказать, что Земля имеет форму сфероида или эллипсоида, сплюснутого вдоль оси вращения. Сжатие Земли невелико. Разница между полярным и экваториальным радиусами составляет 21,4 км. В XIX в. было установлено, что форма Земли еще сложнее. Неоднородный состав недр является одной из причин отклонения от правильной формы сфероида. Геометрическая фигура Земли получила название геоида («землеподобный»).

Геоид – это фигура, поверхность которой всюду перпендикулярна направлению силы тяжести.

Превышения и понижения геоида над сфероидом колеблются в пределах 50-100 м. Поверхность океана совпадает с поверхностью геоида. На суше реальная физическая поверхность Земли может отступать о поверхности геоида на несколько километров.

На практике при проведении геодезических и картографических работ используют модель эллипсоида, получившего имя Ф. Н. Красовского, под руководством которого проведены все расчеты. Эллипсоид Красовского имеет следующие характеристики:

экваториальный радиус – 6378, 2 км
полярный радиус - 6356, 8 км
длина меридиана - 40008,5 км
длина экватора - 40075,7 км
площадь поверхности - 510 млн км^2
объем Земли - 1,083 млрд км^3
масса Земли - $5{,}98 \cdot 10^{24}$ кг.

Научным доказательством шарообразности Земли считаются: фотографии и измерения из Космоса, градусные измерения на поверхности Земли; лунные затмения.

Размеры и масса Земли определяют силу земного притяжения, которой достаточно для удержания атмосферы и гидросферы. Расстояние от Солнца определяет энергетический поток, приходящий на Землю и позволяющий основной массе воды находиться в жидком состоянии. Эти характеристики являются основополагающими при обсуждении проблем проявления жизни на нашей планете.

Земля движется вокруг Солнца со скоростью 30 км/сек. При этом она вращается вокруг оси. Скорость движения точки на поверхности зависит от широты и в средних широтах она составляет около 250 м/сек. Ось вращения Земли не является неподвижной, она описывает в пространстве конус. Ось конуса перпендикулярна к плоскости эклиптики. Это движение называется прецессией. Из-за прецессии земная ось имеет различное направление. Сейчас она направлена на Полярную звезду, а через 12000 лет вблизи полюса бут находиться Вега. Период прецессии 24000-26000 лет. ежегодно направление земной оси отклоняется на 50 угловых секунд. Во время прецессии земная ось «кивает» с амплитудой около 9 угловых секунд (нутация оси). Период нутации 19 лет.

Земля имеет оболочечное строение. Корни представлений об оболочечном строении Земли уходят в глубокую древность. В мифах и сказаниях Индии, Китая, Вавилона, Египта мотивы разделения Земли на отдельные сферы звучат достаточно отчетливо. Элементы-стихии (земля, вода, воздух, огонь) античных философов характеризуются сложными пространственными отношениями. Религиозные мыслители конструировали иерархические сферы земного и небесного бытия. Великие географические открытия XV-XVI вв. окончательно убедили людей в сферичности Земли. Как

эмпирическое обобщение сложилось представление о трех оболочках Земли: каменной, водной, воздушной. После основополагающих работ австралийского геолога Э. Зюсса и русского натуралиста В.И. Вернадского в естествознании утвердилось представление о еще одной, особой, оболочке Земли – биосфере, охватывающей область распространения живых организмов.

Геосферой называется оболочка Земли, приблизительно симметричная относительно ее центра и состоящая в основном из вещества, находящегося в одном из физических состояний.

Главными вещественными оболочками Земли являются: экзосфера, ионосфера, мезосфера, стратосфера, тропосфера, гидросфера, земная кора, мантия, ядро. По какомму-либо особому свойству вещества выделяют функциональные геосферы: по встречаемости осадочных пород – стратисферу; по соотношению температуры и давления, обусловливающему расплавленное состояние горных пород – астеносферу; по распространению живого - биосферу и т.д.

По комплексу признаков выделяют ландшафтную сферу, охватывающую тропосферу, гидросферу, часть земной коры (литосферу). Предложено достаточно много терминов, почти синонимов этого понятия: физико-географическая сфера, географическая сфера, эпигенема, фитогеосфера, биогеосфера, эпигеосфера, симмисфера. В рамках знаний о ландшафтной сфере разрабатываются представления о антропосфере, психосфере, социосфере, техносфере, ноосфере.

По проявлению физических полей Земли выделяют геогравиосферу, геоэлектромагнитосферу, сейсмосферу. Геосферы связаны и взаимно проникают в друг друга через отдельные компоненты. Так, связь литосферы и атмосферы осуществляется через пыль; атмосферы и гидросферы – через растворенный в воде воздух и парообразное состояние воды.

Внутреннее строение Земли

Главные сведения о внутреннем строении Земли получены двумя способами: прямым бурением скважин и анализом физических полей Земли.

Прямое бурение дает сведения о строении Земли до глубин 3-5 км. Сверхглубокие скважины позволяют заглянуть за десятикилометровый рубеж.

Самая большая масса сведений получена путем анализа физических полей, основным из которых является поле упругих сейсмических волн, возникающее в очаге землетрясений.

Землетрясения проявляются в виде подземных толчков и играют заметную роль в жизни Земли. Ежегодно регистрируются свыше одного миллиона подземных толчков, но лишь немногие из них оказываются разрушительными и катастрофическими. Земля охвачена землетрясениями неравномерно. Обычно они концентрируются вблизи узких, активных зон земной коры, которые называются сейсмическими. Больше всего землетрясений (до 80%) регистрируются по периферии Тихого океана, в так называемом тихоокеанском сейсмическом поясе. Вторым по активности является средиземноморско-индонезийский сейсмический пояс, протянувшийся от Гибралтара через Средиземное море, Ближний Восток и Гималаи к островам Индонезии, где он и стыкуется с тихоокеанским.

Сейсмические волны в считанные минуты пронизывают всю планету. По характеру их распространения можно судить о состоянии вещества внутри Земли. К настоящему времени накопленные сведения позволяют выделить три основные внутренние структуры: ядро, мантию, земную кору.

Границы между этими структурами носят имена исследователей, открывших их. Граница Мохоровичича (по имени хорватского геофизика) отделяет земную кору от мантии и расположена на глубинах 30-70 км на континентах и 5-10 км под дном океана. Граница Вихерта-Гутенберга (по именам американских исследователей) разделяет мантию и ядро и находится на глубине 2900 км. Кроме этих основных поверхностей раздела выделяют еще несколько второстепенных, что свидетельствует о сложном слоистом строении Земли.

Ядро Земли занимает примерно 17% объема земного шара. На его долю приходится около 34% массы Земли. В структуре ядра выделяют три основных слоя: внутреннее ядро (субъядро) занимает объем глубже 5120 км; переходная область в интервале глубин 4980-5120 км; внешнее ядро о границы

Вихерта-Гутенберга до 4980 км. Сейсмические данные позволяют предположить, что вещество внутреннего ядра находится в твердом состоянии, вещество переходной области – в различных фазовых состояниях, вещество внешнего ядра обладает некоторыми свойствами жидкости.

Мантия Земли является самым крупным элементом в структуре Земли. Занимает 83% объема и 67% массы. Имеет сложное слоистое строение. Сейсмические данные указывают ее границы на глубинах 400, 670 и 2700 км. Выделяют три основные части мантии: нижнюю – от поверхности Вихерта-Гутенберга до глубины 670 км; переходную зону – от 670 до 400 км; верхнюю – от глубины 400 км до границы Мохоровичича. Как нижняя, так и верхняя мантии содержат отдельные слои, различающиеся скоростями прохождения сейсмических волн.

На земную кору приходится 1% массы Земли. Кора простирается от поверхности Земли до границы Мохоровичича. Ее строение будет рассмотрено в следующем разделе.

Химический состав Земли

Получение сведений о химическом составе является весьма сложной задачей, так как требуются образцы вещества из разных геосфер и оболочек. Существующие данные есть обобщенный результат сведений из трех основных источников:

- прямого изучения химического состава земной коры (дают сведения для менее чем 1% массы);
- анализа данных сейсмологии (основной недостаток – одинаковые скорости упругих волн могут быть присущи веществам разного химического состава);
- анализа химического состава внеземных объектов – Луны, метеоритов, планет (использование для данных возможно при предположении об одинаковом исходном веществе).

Изучением распространенности химических элементов на Земле занимались многие ученые, начиная еще с алхимиков (Теофраст, Плиний и др.). Но только в XVII-XIX вв. появились опытные данные о химических процессах в земной коре и их стали осмысливать с позиций, которые мы сейчас именуем геохимическими. В XVII в. Р. Бойль, изучая химию атмосферы и природных вод, и голландец Х. Гюйгенс подошли к пониманию

жизни как космического явления. В XVII веке М. В. Ломоносов обосновал значение химии для геологии, дал объяснение процессам образования угля, нефти, торфа и других полезных ископаемых в своих знаменитых книгах "О слоях земных" и "О рождении металлов". А. Лавуазье заложил основы геохимии атмосферы, природных вод. Большое значение для накопления фактического материала по геохимии имели работы шведского химика И. Берцелиуса в области химического анализа горных пород, руд, минералов и вод. Он открыл торий, церий, селен, впервые получил в свободном состоянии кремний, титан, тантал, цирконий и др.

Вплотную подошли к геохимии работы, опубликованные в XIX в. немецкими учеными К. Бишофом и И. Брейтгаупом по химии земной коры. Они рассматривали химический состав земной коры и круговорот веществ в ней. В те же годы стал употребляться термин "геохимия". Его появлением наука обязана швейцарскому химику Х. Шенбейну, который писал в 1842 году, что необходимо, прежде чем вести речь о настоящей геологической науке, иметь геохимию, которая должна исследовать химическую природу и происхождение масс, образующих земной шар. Но настоящее рождение геохимии как науки произошло в первой половине XX в. (1908-1911). Место рождения: кафедра минералогии Московского университета. Сделал ее наукой В. И. Вернадский (1861-1945). Минералогию Вернадский трактовал как химию соединений земной коры. Используя результаты спектрального анализа, он пришел к выводу о всеобщем рассеянии химических элементов. Вернадский говорил**:**

> *"В каждой капле и пылинке вещества на земной поверхности, по мере увеличения тонкости наших исследований, мы открываем все новые и новые элементы. Получается впечатление микрокосмического характера их рассеяния. В песчинке или капле, как в микрокосме, отражается общий состав космоса. В ней могут быть найдены все те элементы, какие наблюдаются на земном шаре, в небесных пространствах. Вопрос связан лишь с улучшением и утончением методов исследования. При их улучшении мы находим*

натрий, литий, стронций там, где их раньше не видели; при их уточнении мы открываем их в меньших пробах, чем делали раньше".

Первый курс геохимии был прочитан в 1912 г. учеником Вернадского А. Е. Ферсманом (1883-1945). В 1933-1939 гг. Ферсман опубликовал четырехтомную "Геохимию" – первое систематическое изложение этой науки.

Большой вклад в геохимию внес В. М. Гольдшмидт (Норвегия). Он указал, что для вхождения химических элементов в кристаллическую решетку решающее значение имеет размер атомов или ионов. Он объяснил совместное нахождение магния и никеля, калия и свинца и тем самым заложил основы геохимии минералов. После его трудов появилась возможность предсказывать скопление элементов в земной коре и вести направленный поиск минералов в природе.

Еще в 1815 г. английский минералог В. Филиппс пытался определить среднее содержание в земной коре 10 химических элементов. Его работы были продолжены французами Эли де Бомоном и А. Добрэ. Но их исследования не привлекли внимания.

В 80-е гг. XIX в. проблемами определения среднего состава земной коры много занимался Ф.У. Кларк – руководитель химической лаборатории американского геологического комитета в Вашингтоне. Отобрав 880 наиболее точных анализов горных пород, он в 1889 г. определил среднее содержание 10 химических элементов в твердой земной коре. Кларк получил следующие результаты:

Элемент	Содержание, %	Элемент	Содержание, %
Кислород	46,28	Магний	2,77
Кремний	28,02	Калий	2,47
Алюминий	8,14	Натрий	2,43
Железо	5,58	Титан	0,33
Кальций	3,27	Фосфор	0,10

Σ=99,39%

Кларк трактовал геохимию как совокупность сведений о химическом составе земной коры. Продолжая исследования, он увеличивал точность определений, количество анализов и число

элементов. В сводке среднего содержания элементов в земной коре, опубликованной в 1924 г., были приведены данные уже о 50 элементах.

Учитывая заслуги Кларка в развитии геохимии и исследованиях распространенности элементов, Ферсман в 1923 г. предложил обозначить среднее содержание химического элемента в земной коре, на Земле в целом, а также на планетах и в космосе термином **"кларк"**. По предложению Вернадского в таблицах кларков приводятся значения массовых (весовых) и атомных кларков.

Смысл введения атомных кларков состоит в следующем. Пусть имеется геологическая система, состоящая из водорода и фтора, и на один атом водорода приходится один атом фтора. Если определить атомные кларки, то они будут одинаковы для обоих элементов. Но если определить вклад водорода и фтора в массу системы, то окажется, что в соответствии с величинами атомных масс водорода и фтора от общей суммы $1_H + 19_F = 20_{HF}$ водород составит только 5%, а фтор – 95%. Таким образом массовые и атомные кларки могут значительно различаться. Для перевода массовых кларков в атомные надо значение массового кларка каждого элемента разделить на атомную массу и сумму этих величин считать за 100%. Тогда доля в этой сумме величины содержания каждого элемента будет соответствовать его атомному кларку.

Со дня опубликования первой таблицы Кларка прошло более 100 лет. За это время была проделана гигантская работа, и общая картина распространенности элементов в земной коре выявилась достаточно отчетливо. Прежде всего подтвердилось гениальное предположение Вернадского о рассеянном состоянии всех химических элементов. Для иода, гафния, скандия, рубидия, индия, цезия, радия и некоторых других редких элементов рассеянное состояние является основным, так как они не образуют или почти не образуют собственных минералов. Только для кислорода, кремния, алюминия, железа, натрия, калия, магния главная форма нахождения – собственные минералы. **Положение о всеобщем рассеянии химических элементов** советский геохимик Н. И. Сафронов предложил именовать **законом Кларка-Вернадского.**

Современные методы анализа и приборы позволили уточнить содержание элементов в земной коре (табл. 1.3). Как

видно из таблицы, половина земной коры состоит из кислорода. Таким образом, земная кора – это "кислородная сфера". На втором месте стоит кремний (кларк 29,5), на третьем – алюминий (8,05). Если к ним добавить железо (4,65), кальций (2,96), калий (2,50), натрий (2,50), магний (1,87), титан (0,45), то получится 99,48%, т. е. практически вся земная кора. На остальные 80 элементов приходится менее 1%. **Элементы, содержание которых не превышает 0,01-0,0001%, называют редкими. Если редкие элементы не образуют собственных минералов, то их называют "редкими рассеянными" (Br, In, Ra, U, Re, Hf, Se и др.).** Так, у урана и брома кларки почти одинаковы ($2{,}5\cdot10^{-4}$ и $2{,}1\cdot10^{-4}$), но уран – редкий элемент, т. к. известно 104 урановых минерала и урановые месторождения, а бром – рассеянный (имеет лишь один минерал).

В геохимии есть еще понятие "микроэлементы", которое означает элементы, содержащиеся в малых количествах (>0,01%) в данной системе. Так, алюминий – микроэлемент в живом организме и макроэлемент в силикатных породах.

Установлено, что кларки в основном не зависят от химических свойств элементов. А как влияет на распространенность ядро элемента? Еще в 1923 г. В. М. Гольдшмидт сформулировал основной закон геохимии: **общая распространенность элемента зависит от свойств его атомного ядра, а характер распространения – от свойств наружной электронной оболочки его атома**.

Ферсман получил график зависимости атомных кларков от заряда ядра для четных и нечетных элементов периодической системы Д. И. Менделеева (рис. 3.4). Он выяснил, что с усложнением атомного ядра, увеличением его массы кларки элементов уменьшаются, но эти кривые оказались немонотонными. Легкие атомы (занимающие места в начале периодической системы) более распространены. Их ядра содержат небольшое число нуклонов (протонов и нейтронов). Действительно, после железа (**Z** = 26) нет ни одного распространенного элемента. На это указывал еще Д. И. Менделеев. В 1869 г. одновременно с периодическим законом он сформулировал правило: **элементы с малыми атомными весами в общем более распространены, чем тяжелые элементы.**

Другая закономерность была установлена в 1914 г. Г. Оддо (Италия) и В. Гаркинсоном (США) в 1915-1928 гг. Они заметили, что в земной коре преобладают элементы с четными порядковыми номерами и четными атомными массами. Среди соседних элементов у четных кларки всегда выше, чем у нечетных (рис. 3.4). Для первых 9 элементов по

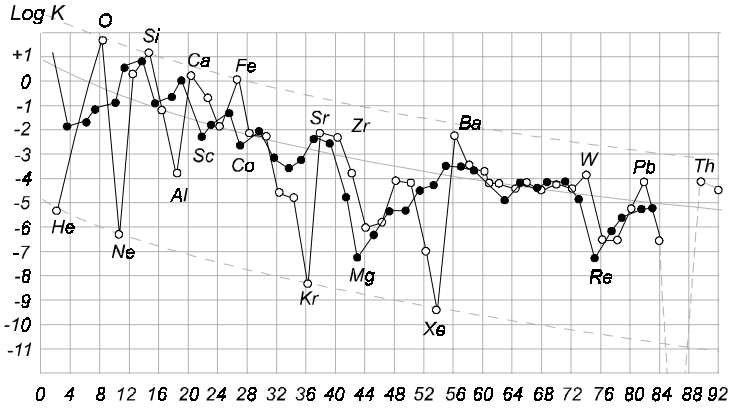


Рис. 3.4. Логарифмы атомных кларков (по А.И. Ферсману)

распространенности четные кларки составляют 86,43%, а нечетные – 13,03%. Особенно велики кларки элементов, атомная масса которых делится на 4. Среди атомов одного и того же элемента преобладают изотопы с массовым числом, кратным 4. Такое строение Ферсман обозначил как 4**q**, где **q** – целое число. Ниже приведено соотношение распространенности различных изотопов кислорода и серы:

^{16}O - 99,76 ^{32}S – 55,01
^{17}O – 0,04 ^{33}S – 0,75
^{18}O – 0,20 ^{34}S – 4,22
^{36}S – 0,02.

По Ферсману, ядра типа 4**q** составляют 83,39% земной коры. Менее распространены ядра 4**q**+3 (12,7%). Совсем мало ядер 4**q**+I и 4**q**+2 (1%). Было отмечено также, что среди четных элементов, начиная с гелия, наибольшими кларками обладает каждый шестой: кислород (№ 8), кремний (№ 14), кальций (№

20), железо (№ 26). Для нечетных элементов существует аналогичное правило (начиная с водорода, № 1): азот (№ 7); алюминий (№ 13); калий (№ 19); марганец (№ 25). Ядра, содержащие 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126 протонов или нейтронов, особенно устойчивы. Эти числа называются **магическими**. Наиболее устойчивы дважды магические ядра, содержащие магические числа протонов и нейтронов (^{208}Pb).

Таким образом, распространенность элементов в земной коре связана преимущественно со строением атомного ядра. В земной коре преобладают ядра с небольшим и четным числом протонов и нейтронов. Причина этого лежит в звездной стадии существования земной материи. Свыше 4,5 млрд лет назад вещество нашей планеты было нагрето до десятков миллионов градусов. При таких температурах ни атомы, ни молекулы существовать не могут, и вещество представляло собой раскаленную плазму со свободными электронами и ядрами. В плазме протекали ядерные реакции – из протонов и нейтронов образовывались ядра химических элементов. Вероятнее всего образование наиболее устойчивых ядер, а такими являются ядра, содержащие небольшое и четное количество протонов и нейтронов. Ядра же, переполненные протонами и нейтронами, неустойчивы и распадаются. Таковы уран, торий, радий и другие радиоактивные элементы, распадающиеся с образованием свинца и гелия. Но и среди легких элементов не все обладают высокими кларками. Например, бериллий имеет порядковый номер 4, а его кларк $3{,}8 \cdot 10^{-4}$%. Еще меньше кларк гелия, хотя в космосе он занимает второе место по распространенности (после водорода). Мало лития ($3{,}2 \cdot 10^{-3}$%), бора ($1{,}2 \cdot 10^{-3}$%), углерода ($2{,}3 \cdot 10^{-2}$%). Это объясняется тем, что названные атомы в центральных частях звезд являются ядерным горючим и уничтожаются в ходе ядерных реакций.

В общем, химический состав Земли установлен достаточно хорошо и в целом его можно представить в виде следующей таблицы 3.3.

Таблица 3.3

Химический состав геосфер и оболочек Земли

Оболочка, геосфера	Содержание, % (по массе)					
	N	H	C	O	S	Мет.
Ядро	-	Следы	-	Следы	Следы	99,0

Мантия	-	Следы	Следы	40,0	16,0	43,0
Земная кора	-	0,14	0,15	46,7	27,7	24,5
Гидросфера	Следы	10,7	0,28	86,0	Следы	1.28
Атмосфера	74,5	0.14	0,01	24,1	-	-
Биосфера	2,2	9,1	14,0	73,0	Следы	1,0

Ядро почти целиком состоит из металлов. Предполагается, что это в основном железо и никель. В мантии количество металлов резко уменьшается, но увеличивается количество кислорода. Этот элемент преобладает и во внешних геооболочках: земной коре, гидросфере, биосфере.

Физические поля Земли

Физические поля Земли включают гравитационноее, магнитное, и тепловое поле. Физические поля Земли охватывают не менее 2 млн км. Эти пределы определяются гравитационными и электромагнитными полями.

Гравитационное поле Земли составляет две сферы:

1. Сфера Хилла, радиус этой сферы составляет около 1500000 км и определяет расстояние, на котором могут двигаться тела, оставаясь спутниками Земли.

2. Сфера, радиус которой 260000 км, в пределах которого земное притяжение превышает солнечное.

Гравитационные взаимодействия Солнца, а также и других планет на земную орбиту вызывают вековые возмущения колебательного характера, которые существенно влияют на состояние биосферы и человека.

Гравитационное поле Земли определяет силу тяжести на поверхности. Ускорение свободного падения на Земле различается в зависимости от распределения плотности пород, неровности поверхности для конкретной местности. Отклонения силы тяжести в данном месте от теоретических значений называют гравитационными аномалиями. В среднем значения ускорения свободного падения изменяются от 9,78 м/сек^2 (на полюсах) до 9,83 м/сек^2 (на экваторе). Эти значения рассчитаны для формы Земли, как сфероида, что не совсем точно.

Магнитное поле Земли, как показали исследования, выполненные с помощью ракет и спутников, простирается на

расстояние около десяти земных радиусов (100-200 тыс. км), где его напряженность практически сравнивается с напряженностью межпланетного магнитного поля.

Напряженность магнитного поля на поверхности Земли неодинакова. В полярных областях она достигает $8 \cdot 10^{-3}$ – $9 \cdot 10^{-3}$ А/м, а на экваторе напряженность уменьшается до $5 \cdot 10^{-3}$ А/м. По мере удаления от Земли напряженность уменьшается пропорционально кубу расстояния.

Тепловое поле Земля имеет как всякое нагретое тело. Факторы, обусловливающие нагревание Земли делятся на внешние (солнечная энергия, приливное трение, космическое излучение) и внутренние (теплопередача из глубины Земли, термальные воды, вулканизм, землетрясения, хозяйственная деятельность человека). Основным источником теплового поля является Солнце. Земля получает одну двухмиллиардную часть теплового потока Солнца. На верхнюю границу приходит тепловой поток, равный 1370 Дж/м^2, что соответствует сжиганию 1 млрд т нефти.

Температура на поверхности Земли колеблется в достаточно больших пределах. Самая низкая температура зарегистрирована в Антарктиде на станции Восток –89^o С, а самая высокая – в Триполи (Северная Африка) +58^o С.

С увеличением глубины в литосфере и гидросфере колебания температуры уменьшаются. Глубина, на которой температура практически не меняется, называется слоем постоянных температур. Наличие такого слоя объясняет образование вечной мерзлоты.

По мере образования твердой оболочки планеты Земля и ее остывания, создавались условия для образования различных химических соединений, а далее и других форм, в том числе и живых организмов. Особая роль в этом процессе принадлежит химии и химической эволюции.

Химическая эволюция

Химию обычно рассматривали как науку о составе и качественном превращении различных веществ. В первое время именно по составу реагирующих веществ пытались объяснить

свойства полученных новых веществ. Уже на этом этапе ученые встретились с огромными трудностями. Ведь для того чтобы понять, что именно первоначальные элементы определяют свойства простых и сложных веществ, надо, во-первых, уметь различать простые и сложные вещества, а во-вторых, определить те элементы, от которых зависят их свойства. Между тем долгое время ученые считали, например, металлы сложными веществами, а об элементах существовали самые противоречивые представления. Поэтому, несмотря на обилие эмпирического материала о свойствах различных веществ и их соединений, особенностях протекания разнообразных реакций, в химии, по сути дела, до открытия в 1869 г. Периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева (1834–1907) не существовало той объединяющей концепции, с помощью которой можно было бы объяснить весь накопленный фактический материал, а следовательно, представить все наличное знание как систему теоретической химии.

Было бы, однако, неправильно не учитывать той громадной исследовательской работы, которая привела к утверждению системного взгляда на химические знания. Уже с первых шагов химики на интуитивном и эмпирическом уровне поняли, что свойства простых веществ и химических соединений зависят от тех неизменных начал, или носителей, которые впоследствии стали называть *элементами.* Выявление и анализ этих элементов, раскрытие связи между ними и свойствами веществ охватывает значительный период в истории химии, начиная от гипотезы Р. Бойля (1627–1691) и кончая современными представлениями о химических элементах как разновидностях изотопов, т.е. атомов, обладающих одинаковым зарядом ядра и отличающихся по массе. Этот *первый концептуальный уровень* можно назвать уровнем исследования различных свойств веществ в зависимости от их химического состава, определяемого их элементами. Здесь мы видим поразительную аналогию с той концепцией атомизма, о которой ранее шла речь. Химики, как и физики, искали ту первоначальную основу или элемент, с помощью которой пытались объяснить свойства всех простых и сложных веществ.

Второй концептуальный уровень познания свойств связан с исследованием *структуры,* т.е. способа взаимодействия элементов веществ. Эксперимент и производственная практика

убедительно доказывали, что свойства полученных в результате химических реакций веществ зависят не только от элементов, но и от их структуры Именно поэтому в познании и использовании химических явлении необходимо было учитывать структуру, т.е. характер взаимодействия составных элементов вещества.

Третий уровень познания представляет собой исследование внутренних механизмов и условий протекания химических процессов, таких как температура, давление, скорость протекания реакции и некоторые другие. Все эти факторы оказывают громадное влияние на характер процессов и объем получаемых веществ, что имеет первостепенное значение для массового производства.

Наконец, *четвертый концептуальный уровень,* являющийся дальнейшим развитием предыдущего уровня, связан с более глубоким изучением природы реагентов, участвующих в химических реакциях, а также с применением катализаторов, значительно ускоряющих скорость их протекания. На этом уровне мы встречаемся уже с простейшими явлениями самоорганизации, изучаемыми синергетикой.

Для определения свойств веществ необходимо установить, из каких элементов они состоят, а это предполагает наличие точного понятия химического элемента. Упоминавшееся выше определение Р. Бойля элемента как «простого тела», а тем более ранние попытки отождествить элементы непосредственно со свойствами и качествами веществ, не достигали этой цели. В самом деле, ни сам Р. Бойль, ни его сторонники не имели ясного представления о «простом веществе» и поэтому принимали за него, по сути дела химическое соединение. Так, например, железо, медь и другие известные в то время металлы они рассматривали как сложные тела, а окалину, получающуюся при их прокаливании, – за простое тело. Теперь мы знаем, что окалина, или оксид металла, представляет собой соединение металла с кислородом, т.е. это сложное тело. Такое ошибочное представление было навязано ученым господствовавшей в то время ложной гипотезой *флогистона,* согласно которой сложные тела состоят из соответствующего элемента и особого «невесомого тела» – флогистона. Эта гипотеза была опровергнута известным французским химиком Антуаном Лавуазье (1743–1794) после открытия кислорода и выявления его роли в процессах окисления и горения. Он же первый

предпринял попытку систематизации открытых к тому времени химических элементов, хотя при этом отнес к ним и некоторые химические соединения (известь, магнезию и др.). А. Лавуазье считал элементами только такие тела, которые не поддавались в его время реакции разложения. Постепенно химики открывали все новые и новые химические элементы, описывали их свойства и реакционную способность и благодаря этому накопили огромный эмпирический материал, который необходимо было привести в определенную концептуальную *систему.* Такие *системы* предлагались разными учеными, но были весьма несовершенными потому, что в качестве системообразующего фактора брались несущественные, второстепенные и даже чисто внешние признаки элементов.

Великая заслуга Д.И. Менделеева состоит в том, что, открыв периодический закон, он заложил фундамент для построения подлинно научной системы химических знаний. В качестве системообразующего фактора, или «неизменного общего в изменяемом и частном», он выбрал атомную массу, или атомный вес. В соответствии с атомным весом, он расположил химические элементы в систему и показал, что их свойства находятся в периодической зависимости от атомного веса. Более того, он предсказал существование неизвестных элементов, оставив для них пустые клетки в своей таблице. Впоследствии эти элементы были открыты химиками, и свойства их оказались такими, какие предсказал Д.И. Менделеев. Благодаря этому его периодическая система получила широкое признание в научном мире. Дальнейшее развитие науки позволило уточнить, что свойства химических элементов зависят от их атомного номера, определяемого зарядом ядра. Атомный же вес является средним арифметическим величин масс изотопов, из которых состоит элемент. *Изотопами* называются разновидности атомов, которые имеют одинаковый заряд ядра, но отличаются по своей массе. Тем самым была решена и проблема химического элемента, которая с XVIII в. оставалась предметом многочисленных дискуссий.

В настоящее время химическим элементом называют вещество, все атомы которого обладают одинаковым зарядом ядра, (хотя и различаются по своей массе, вследствие чего атомные веса элементов не выражаются целыми числами).

С позиций атомизма решается также проблема *химического соединения.* Что считать смесью, а что химическим соединением? Обладает ли такое соединение постоянным или переменным составом? Еще в начале XIX в. по этим вопросам возникла острая дискуссия между известными французскими химиками Ж. Прустом (1754–1826) и К. Бертолле (1748–1822). Пруст считал, что любое химическое соединение должно обладать вполне определенным, неизменным составом, и это свое убеждение сформулировал в виде закона *постоянства состава.* По его мнению, именно постоянный состав отличает химические соединения от смесей. Впоследствии закон постоянства состава с позиций атомно-молекулярного учения обосновал выдающийся английский химик Д. Дальтон (1766–1844). Он утверждал, что всякое индивидуальное вещество – простое или сложное – состоит из мельчайших частиц – молекул, которые, в свою очередь, образованы из атомов. Именно молекулы являются наименьшими частицами, обладающими свойствами вещества. Например, молекула такого простого вещества как кислород (O_2) образована из двух атомов и характеризуется всеми свойствами, которые присущи этому веществу. Молекулы сложных веществ, или химических соединений, образованы из разных атомов и поэтому обладают свойствами, отличными от свойств составных частей. Так, например, вода H_2O представляет собой жидкость, а образована она из двух газов – водорода и кислорода. Важно подчеркнуть, что каким бы способом она или другое химическое соединение ни были получены, они всегда будут иметь тот же самый состав. Долгое время закон постоянства состава считался «абсолютной» истиной, не допускающей никаких исключений, хотя уже К. Бертолле указывал на существование соединений переменного состава в форме растворов и сплавов. Впоследствии были найдены более убедительные доказательства существования химических соединений переменного состава, в частности, в школе известного русского физико-химика Н.С. Курнакова (1860–1940), которые он назвал бертоллидами в честь К. Бертолле. К ним он отнес те соединения, состав которых зависит от способа их получения, например, соединения двух металлов. Химики открыли другие соединения переменного состава и пришли к выводу, что они отличаются от соединений постоянного состава тем, что не

обладают молекулярным строением. Однако такой вывод оказался неубедительным с точки зрения современных научных представлений о строении атомов и молекул. Было установлено, что постоянство и непостоянство состава химических соединений являются внешней их характеристикой и сами нуждаются в дальнейшем анализе. Такой анализ показывает, что природа соединения, т.е. характер связи атомов в его молекуле, зависит от их химических связей, определяемых обменным взаимодействием валентных электронов. В связи с этим изменилось и само классическое понятие молекулы, хотя основное его содержание сохранилось: молекулой по-прежнему называют наименьшую частицу вещества, которая определяет его свойства и может существовать самостоятельно. Однако к молекулам теперь относят также другие разнообразные квантово-механические системы (ионные, атомные монокристаллы, полимеры и другие макромолекулы). Таким образом, в свете современных физических представлений исчезает не только прежнее резкое противопоставление химических соединений постоянного состава как обладающих молекулярным строением и соединений переменного состава, лишенных этого строения, но и отождествление химического соединения со сложным веществом, состоящим из нескольких элементов. В принципе соединение может состоять и из одного элемента. Характер любой системы, как известно, зависит не только от состава и строения ее элементов, но и от их взаимодействия. Именно такое взаимодействие определяет специфические, целостные свойства самой системы. Поэтому при исследовании разнообразных веществ и их реакционной способности ученым приходилось заниматься и изучением их структур. Соответственно уровню достигнутых знаний менялись и представления о химической структуре веществ. Хотя разные ученые по-разному истолковывали характер взаимодействия между элементами химических систем, тем не менее все они подчеркивали, что целостные свойства этих систем определяются именно специфическими особенностями взаимодействия между их элементами. В качестве первичной химической системы рассматривалась при этом молекула, и поэтому, когда речь заходила о структуре веществ, то имелась в виду именно структура молекулы как наименьшей единицы вещества. Сами представления о структуре молекулы

постепенно совершенствовались, уточнялись и конкретизировались, начиная от весьма общих предположений отвлеченного характера и кончая гипотезами, обоснованными с помощью систематических химических экспериментов. Если, например, по мнению известного шведского химика Й. Берцелиуса (1779–1848), структура молекулы возникает благодаря взаимодействию разноименно заряженных атомов или атомных групп, то французский химик Ш. Жерар (1816–1856) справедливо указывал на весьма ограниченный характер такого представления. В противовес этому он подчеркивал, что при образовании структур различные атомы не просто взаимодействуют, но известным образом преобразуют друг друга, так что в результате возникает определенная целостность, или, как мы сказали бы теперь, система. Однако эти общие и в целом правильные представления не содержали практических указаний, как применить их для синтеза новых химических соединений и получения веществ с заранее заданными свойствами. Такую попытку раскрытия структуры молекул и синтеза новых веществ предпринял известный немецкий химик Ф. Кекуле (1829–1896). Он стал связывать структуру с понятием валентности элемента, или числа единиц его сродства. На этой основе и возникли те структурные формулы, которыми с определенными модификациями пользуются при изучении органической химии в школе. В этих формулах элементы связывались с друг другом по числу единиц их сродства, или валентности. Комбинируя атомы различных химических элементов по их валентности, можно прогнозировать получение различных химических соединений в зависимости от исходных реагентов. Таким путем можно было управлять процессом синтеза различных веществ с заданными свойствами, а именно это составляет важнейшую задачу химической науки. Дальнейший шаг эволюции понятия химической структуры связан с теорией химического строения А.М. Бутлерова (1828–1886), который хотя и признавал, что образование новых молекул из атомов происходит за счет их химического сродства, но обращал особое внимание на степень напряжения, или энергии, с которой они связываются друг с другом. Именно поэтому новые идеи А.М. Бутлерова нашли не только широкое применение в практике химического синтеза, но и получили свое обоснование в квантовой механике. Этот

краткий экскурс в историю химии показывает, что эволюция понятия химической структуры осуществлялась в направлении, с одной стороны, анализа ее составных частей, или элементов, а с другой – установления характера физико-химического взаимодействия между ними. Последнее особенно важно для ясного понимания структуры с точки зрения системного подхода, где под структурой подразумевают упорядоченную связь и взаимодействие между элементами системы, благодаря которой и возникают новые целостные ее свойства. В такой химической системе, как молекула, именно специфический характер взаимодействия *составляющих* ее атомов определяет свойства молекулы. Способность к взаимодействию различных химических реагентов определяется не только их атомно-молекулярной структурой, но и условиями протекания химических реакций.

К условиям протекания химических процессов относятся прежде всего термодинамические факторы, характеризующие зависимость реакций от температуры, давления и некоторых других условий. В еще большей степени характер и особенно скорость реакций зависят от кинетических условий, которые определяются наличием катализаторов а других добавок к реагентам, а также влиянием растворителей, стенок реактора и иных условий.

Не следует, однако, забывать, что эти условия могут оказывать воздействие на характер и результат химических реакций при определенной структуре молекул химических соединений. Наиболее активны в этом отношении соединения переменного состава с ослабленными связями между их компонентами. Именно на них и направлено в первую очередь действие разных катализаторов, которые значительно ускоряют ход химических реакций. Меньшее влияние оказывают на реакции такие термодинамические факторы, как температура и давление. Для сравнения можно привести реакцию синтеза аммиака из азота и водорода. Вначале его не удавалось получить с помощью ни большого давления, ни высокой температуры, и только использование в качестве катализатора специально обработанного железа привело к успеху. Однако эта реакция сопряжена с большими технологическими трудностями, которые удалось преодолеть после того, когда был использован металлорганический катализатор. В его присутствии синтез

аммиака происходит при обычной температуре (18 °С) и нормальном атмосферном давлении, что открывает большие перспективы не только для производства удобрений, но в будущем такого изменения генной структуры злаков (ржи и пшеницы), когда они не будут нуждаться в азотных удобрениях. Еще большие возможности и перспективы возникают с использованием катализаторов в других отраслях химической промышленности, **в** особенности в «тонком» и «тяжелом» органическом синтезе. Не приводя более примеров о чрезвычайно высокой эффективности катализаторов в ускорении химических реакций, следует обратить особое внимание на то, что возникновение и эволюция жизни на Земле были бы невозможны без существования ферментов, служащих, по сути дела, живыми катализаторами. Несмотря на то, что ферменты обладают общими свойствами, присущими всем катализаторам, тем не менее, они не тождественны последним, поскольку функционируют в рамках живых систем. Поэтому все попытки использовать опыт живой природы для ускорения химических процессов в неорганическом мире наталкиваются на серьезные ограничения. Речь может идти только о моделировании некоторых функций ферментов и использовании этих моделей для теоретического анализа деятельности живых систем, а также частично – практического применения выделенных ферментов для ускорения некоторых химических реакций. Тот факт, что катализ играл решающую роль в процессе перехода от химических систем к биологическим, т.е. на предбиотической стадии эволюции, в настоящее время подтверждается многими данными и аргументами. Наиболее убедительные результаты связаны с опытами по самоорганизации химических систем, которые наблюдали наши соотечественники В.П. Белоусов и А.М. Жаботинский. Такие реакции сопровождаются образованием специфических пространственных и временных структур за счет поступления новых и удаления использованных химических реагентов. Однако, в отличие от самоорганизации открытых физических систем, в указанных химических реакциях важное значение приобретают каталитические процессы. Роль этих процессов усиливается по мере усложнения состава и структуры химических систем. На этом основании некоторые ученые, например, напрямую связывают химическую эволюцию с

самоорганизацией и саморазвитием каталитических систем. Другими словами, такая эволюция если не целиком, то в значительной мере связана с процессами самоорганизации каталитических систем. Следует, однако, помнить, что переход к простейшим формам жизни предполагает также особый дифференцированный отбор лишь таких химических элементов и их соединений, которые являются основным строительным материалом для образования биологических систем. В связи с этим достаточно отметить, что из более чем ста химических элементов лишь шесть, названных *органогенами,* служат основой для построения живых систем.

Таким образом, в общем контексте естественно-научного знания химия занимает особое положение. Дело в том, что она непосредственно связана с физикой, биологией и вместе с ними выходит на изучение всей физико-химико-биологической цепи единого мирового (природного) процесса. Такая высокая общность объекта химии делает эту науку не только специальной областью знания, но и междисциплинарной, по-своему комплексной. Появление биохимии, геохимии, космохимии, физической химии свидетельствует о широком включении «материнской» науки в общеприродный научный комплекс.

Химическая реальность имеет свою ярко выраженную специфику: на уровне химической формы движения материи возникают зачатки живого. Исследование сущности, направленности и закономерностей химической эволюции позволяет соответствующей науке проследить не только образование предбиологических систем, но и выяснить, каким образом и при каких условиях появляется жизнь. Внутри самой химической формы движения материи также происходят изменения от низшего к высшему, от простого к сложному, от неорганической ступени химического движения к органической и далее к химико-биологической. Химическое взаимодействие начинается с того момента, когда выступает на первый план взаимодействие превращающихся друг в друга физических форм движения, пока, наконец, не будет достигнут тот пункт, с которого начинает давать себя знать химическое сродство, когда химически индифферентные до тех пор элементы дифференцируются один за другим, приобретают химические свойства и вступают друг с другом в соединения.

В современной химии теория в основном базируется на физическом фундаменте; это происходит во многом за счет того, что атомный уровень вещества относится и к физической, и к химической формам движения материи. Область физической формы движения материи сводится здесь к уровню элементарных частиц, ядерному и некоторым аспектам более высокого (атомного) уровня.

Атом представляет собой сложную систему взаимодействующих элементарных частиц, состоит из ядра, образованного нуклонами (протонами и нейтронами), и электронов. В содержание понятия атомной частицы включается как изолированный атом, так и атомный, т.е. одноатомный, ион, атомный радикал, атомный ион-радикал, образующийся как результат ионизации или возбуждения атома. Атомная частица является исходным уровнем химической формы движения материи, и усложнение ее направлено к образованию различных атомных ассоциатов. Атомные (А...А), атомно-радикальные (А...А.), радикал-радикальные (А. ... А.) ассоциаты образуются при высоких температурах.

Область химической формы движения материи начинается с атомного уровня, потом переходит к молекулярному, а затем к уровню полимеров (высокомолекулярных соединений). Получается, что атомный уровень является высшим для физической формы движения материи и низшим – для химической. Свойства атомов как химических элементов изучает химия, а состав и строение атомов – физика.

Химическую форму движения материи можно представить в виде иерархии структурных уровней в порядке возрастания их сложности: атомная, молекулярная, макромолекулярная и различные надмолекулярные. На уровне химической формы движения материи имеются различные химические частицы, являющиеся материальными носителями разновидностей химического движения. Между ними существует такое взаимодействие атомов, при котором сами атомы радикально не изменяются, изменяются лишь их электронные оболочки за счет перегруппировки валентных электронов, но в то же время значительно изменяется порядок их взаимосвязи в молекулах, радикалах, соединениях.

Среди химических частиц, образующих структурные уровни химической формы движения материи, необходимо выделить

молекулярные ассоциаты и агрегаты как наиболее сложные образования результата взаимодействия атомных и молекулярных частиц. Ассоциаты существуют чаще всего в газообразном состоянии и в растворах, агрегаты – в твердом и жидком состоянии. К атомно-молекулярным агрегатам относятся кристаллы: молекулярные, ионные, атомные, металлические. В процессе возникновения атомно-молекулярных агрегатов происходит образование новой фазы с надмолекулярной (кристаллической) структурой. Наиболее сложными молекулярными частицами считаются молекулярные ассоциаты высших порядков, как, например, белки, которые состоят из нескольких различных по природе надмолекулярных структур. Надмолекулярная структура атомно-молекулярных частиц по сравнению с молекулярной структурой характеризуется большей сложностью состава и симметрии. Надмолекулярная структура образуется в системах из двух или большего числа молекул со слабыми взаимодействиями между ними. В белках, нуклеиновых кислотах, полисахаридах суммарные силы связи между молекулярными структурами оказываются очень большими.

Усложнение вещества можно представить следующим образом: элементарные частицы $\rightarrow$ атомные частицы $\rightarrow$ молекулярные частицы $\rightarrow$ ассоциаты $\rightarrow$ агрегаты.

Химическая форма движения материи как главная существует в единстве с физической, подчиненной ей. Но при переходе на уровень органической жизни химические процессы занимают место подчиненных форм. В связи с этим для главной формы движения материи характерен такой материальный носитель, без которого ее существование будет невозможным. Например, в процессах, происходящих на уровне неорганической химии, подобными носителями являются атомы. При их отсутствии химические изменения невозможны, хотя они могут происходить не только на уровне атомов, но и молекул, и макротел. Таким образом, химия изучает качественное многообразие материальных носителей химических явлений, химической формы движения материи. Несмотря на то, что структурно химия пересекается в определенных областях и с физикой, и с биологией, она, тем не менее, сохраняет свою специфику. При этом специфически объективным основанием выделения химии является признание наличия специфической

химической формы движения материи, связанной с ее носителем – атомными частицами. Представления химии не исчерпываются на каком-то одном уровне знания, каждый из них имеет свою специфику и во многом зависит от исследователя.

Высшее возникает в результате развития низшего на основе возможностей, заложенных в нем. Часто высшее познается через изучение низшего, т.е. той основы, на которой оно строится. Применение методов квантовой механики в химии ознаменовало новый этап в познании тайн вещества. Стало возможным рассчитывать энергию связей молекулы, выявлять пространственное расположение атомов, распределение электронной плотности, физического механизма химических превращений и т.д.

Интеграция физики и химии оказала влияние не только на дальнейшее развитие химии, но и стала для физики генератором идей при исследованиях в области ядерной физики. Электронная теория вещества изучает атомные ядра и электроны, т.е. частицы субатомного уровня материи. Это дает возможность более четко и во многих случаях количественно характеризовать многие важные моменты, которые установлены уже в рамках классической теории строения. Тем не менее как новый, более высокий этап познания структуры вещества теория электронной структуры вырабатывает ряд понятий и положений, которые либо отсутствовали, либо только намечались в классической теории. Электронное строение лежит в основе учения о валентности. Теория валентности включает в себя несколько методов описания образования химических связей (методы молекулярных орбиталей, валентных связей и теорию поля лигандов). Теория валентности явилась новым качественным этапом в познании тайн материи в основном благодаря применению методов квантовой механики, а квантовая теория стала теорией и физики, и химии. Квантовая химия представляет собой основу всей современной химической науки, поскольку исходит прежде всего из химических представлений о веществе как совокупности связанных между собой атомов, характеристики которых изменяются при формировании химических связей между ними. Поэтому одна из основных задач квантово-механического исследования – валентность, определение того, насколько отличается

связанный атом в соединении от свободного атома и к каким последствиям в свойствах соединения приводят такие различия.

Если более ранние этапы развития химии характеризуются изучением состава вещества и структуры химических соединений, то на современном этапе в центре внимания находится механизм химических превращений. Большие успехи должны быть достигнуты в изучении нестабильных промежуточных частиц и переходного состояния, поскольку исследования в этом направлении позволят перейти на более глубокий уровень в познании законов природы, обеспечивающий возможность выявления качественных особенностей, сущности химических процессов.

Теоретический подход осуществляется методами квантовой химии, экспериментальный – физическими методами, в том числе методом изучения сверхбыстрых процессов. Таким образом, еще раз подтверждается положение о том, что теория в современной химии в основном базируется на физическом фундаменте. Вместе с тем необходимо отметить, что в литературе порой приводится точка зрения, согласно которой химию можно свести к физике, т.е. все химические взаимодействия не отличаются от физических, физика как бы «поглотила» химию, из-за чего последняя якобы потеряла свою специфику. Особенно настойчиво эту точку зрения стали отстаивать после ряда достижений в области квантовой химии.

Процессы взаимодействия физики и химии, интеграции соответствующего научного знания отчетливо прослеживаются во многих методах химической науки и ее теоретических концепциях. Главными методами научного исследования с давних времен и до наших дней в химии стали анализ и синтез в их диалектическом единстве. Ф. Энгельс в «Диалектике природы» сделал пометку на полях: «Химия, в которой преобладающей формой исследования является анализ, ничего не стоит без его противоположности – синтеза». На основе синтеза в химии образуются новые «этажи» объекта исследования. В настоящее время считают, что химический процесс следует рассматривать как единство синтеза (ассоциации) и распада (диссоциации), и, применяя диалектический принцип единства противоположностей, можно познать суть химизма. При исследованиях в химии находят применение явления, обусловленные электронными процессами

в веществе. Это оптические и рентгеновские методы; явления, связанные с влиянием химической природы вещества на ядерные процессы. Когда в структурных исследованиях используют явления аннигиляции позитронов, то образование позитрония можно характеризовать как факт проникновения в химию физики элементарных частиц. Макропроцессы, молекулярные и атомные явления, ядерные эффекты на элементарных частицах – все это химическая наука широко использует в своих методах исследования.

Взаимодействие методов познания физики и химии привело к тому, что статистические и динамические характеристики химических явлений исследуются во взаимосвязи, а в каталитических процессах в новом свете предстают положения теории промежуточных (хемосорбционных) соединений в части взаимосвязи физической и химической форм движения и идей о роли непрерывной химической организации вещества.

Применение методов квантовой механики в химической науке позволило изучить глубинный механизм существования как атомов и молекул, так и явлений, протекающих на структурных уровнях материи, выяснить природу химической связи и валентности, дать физическую интерпретацию периодическому закону Д.И. Менделеева. Ему подчиняются все химические изменения.

Химическая форма движения материи включает такие процессы изменения частиц вещества, которые определяются действием периодического закона элементов. Причина периодичности химических свойств заключается в периодичности строения электронных оболочек, где главное значение имеет заполнение последних вместо последовательного заполнения отдельных периодов. Таким образом, выясняется причинная связь между структурой электронной оболочки атомов и периодичностью в системе элементов.

На химическом уровне интерпретации периодической системы прослеживается периодическое изменение свойств элементов от увеличения их атомных весов, а на физическом, атомном или электронном уровне выявляется периодическое повторение определенных типов электронных конфигураций атомов в зависимости от роста зарядов их ядра. Периодический закон оказался ключом к раскрытию сущности новых физических

явлений, связанных с радиоактивностью, электроном и лучами Рентгена, а эти физические открытия оказались ключом для проникновения в более глубокую сущность самого периодического закона химических элементов.

Проникновение методов физики в химическую науку позволяет понять более глубинную сущность изучаемых явлений, но при этом сохраняется специфика, свойственная как химии, так и физике. Химия рассматривает химическое взаимодействие, которое состоит в перекрывании электронных орбиталей атомов, в результате чего образуются определенные связи, а физика – физическое как на атомном, так и на молекулярном уровнях.

Взаимное проникновение физики и химии в познании вещества показывает, что окружающий мир в своей основе един и представляет собой единство в многообразии и общее в особенном. Резкой границы между физическими и химическими процессами не существует, а наблюдается их всеобщая связь, отражаемая во взаимосвязи наук (физики и химии), которые их изучают, каждая выявляет их специфику с присущими им особыми свойствами и закономерностями. Нет никаких оснований считать, что применение квантово-механических расчетов в химии сводит ее (химию) к физической форме движения материи. Справедливо подчеркнул Б.М. Кедров, что «даже самые крупные успехи квантовой химии ясно показывают, что до сих пор никак не удается «свести» (в смысле «исчерпать») химическую форму движения к физической, химические закономерности к физическим, в частности к квантово-механическим. Последние обнаруживают свое неоспоримое большое познавательное значение лишь в тех случаях, за редким исключением, когда речь идет об истолковании с физической точки зрения закономерностей, ранее уже найденных химией».

Физическими методами невозможно познать многие закономерности, которые характерны только для химической формы движения материи. Физические свойства и процессы, входящие в сферу действия химической формы движения материи, сохраняют свою относительную самостоятельность и в то же время уже не имеют превалирующего значения, а служат средством возникновения и существования химических связей и соединений. Это свидетельствует о том, что химическая форма

движения материи более сложна и совершенна, ее можно назвать высшей по сравнению с физической, а высшее как бы подчиняет низшее.

Многие авторы считают, что атом является низшей границей, исходной основой для химического движения и верхней границей действия физики. С этим можно спорить, но тем не менее именно химическая форма движения определяет (тип химической связи) разнообразие свойств твердых, жидких и газообразных тел. Атомный уровень физической формы движения материи подразделяют на субатомный и молекулярно-физический.

Материальные носители и первого, и второго вида характеризуются гравитационными, электрическими, магнитными свойствами и энергией. Взаимодействия, осуществляемые на физическом уровне движения, могут быть электромагнитными, гравитационными, сильными и слабыми. Скомпенсированность мощных физических сил определяет слабость химических взаимодействий, что обусловливает их подвижность, вариабельность, легкость перестройки молекул, возможность образования чрезвычайно сложно организованных надмолекулярных комплексов. Развитие структурных уровней материи от элементарных частиц к ядру, затем к атому и молекулам, к полимерам и белковым соединениям дает возможность убедиться, что начиная с атомов и по мере дальнейшего усложнения первостепенную роль играют химическое взаимодействие и химические процессы, возникающие на его основе.

При химических превращениях важными факторами являются реакционная способность, энергетические возможности, скорость химической реакции, каталитические свойства и кинетические закономерности. К ним относятся многостадийность химических реакций с участием промежуточных соединений и химических частиц (молекулы, радикалы, ионы), распространение цепных механизмов превращений. Превращение молекул можно рассматривать в виде основы качественной характеристики химической формы движения материи, а образование химической связи обусловлено физическим взаимодействием атомов. Явный результат химических превращений можно обнаружить на молекулярном уровне, поскольку этот уровень чаще всего

образуется как новое качество после изменения на атомном уровне. Химические связи, возникающие на уровне химической формы движения материи, указывают на сложность химических взаимодействий в конкретных молекулярных системах и на то, что участие в химических взаимодействиях принимают не отдельные электроны и ядра, а атомы и молекулы. Получается, что природа химической связи зависит от условий, в которых протекают химические взаимодействия. Например, при переходе валентных электронов от одного атома к другому возникает ионная связь, а при образовании общих электронных пар – ковалентная связь. Типы связи в веществах отличаются от типа связи в отдельной молекуле. Например, в молекуле хлористого натрия связь полярная ковалентная, а в кристалле хлористого натрия – связь ионная. Или в молекуле натрия связь ковалентная, а в кристалле металла натрия – металлическая. От типа связи (ионной, ковалентной, металлической, водородной или другой) зависит образование веществ с новой структурой и соответственно новыми химическими свойствами.

Понятие химической связи отражает непосредственное взаимодействие атомов и его результат. Еще в период создания теории валентности отсутствие свободных связей и насыщенности валентных сил в молекуле показало, что в системах внутренние связи преобладают над внешними. Получалось, что внутримолекулярные связи обладают некоторой самостоятельностью, а сама химическая связь выступает как аддитивное целое. Химическую связь надо рассматривать в качестве результата взаимодействия, который характеризуется определенным составом, специфическими связями составляющих его элементов и наличием новых, особых в сравнении с ними свойств. Химическая связь является следствием стремления атомов к образованию молекулы как целостности.

Многообразие химических связей проявляется в различных свойствах молекул. В качестве примера можно привести энергетику молекул, электронные спектры поглощения, ядерный магнитный резонанс, дипольные моменты, реакционную способность. Через них отчетливо выявляется различие типов химических связей. Объяснив природу химической связи на физической основе как особую форму проявления волновых свойств валентных электронов, квантовая механика помогла

химии выделить и обосновать собственно само понятие химизма в качестве стержня всего понятийного аппарата этой науки, в качестве того всеобщего, вокруг которого и за счет которого происходит формирование множеств единичного и особенного – миллионов химических соединений и реакционных систем.

При химическом взаимодействии на атомно-молекулярном уровне возникают новые вещества, и этот процесс связан с образованием или разрушением (например, испарение) химических связей. Образование или разрушение связей наиболее ярко характеризует проявление химизма. При физическом взаимодействии на атомно-молекулярном уровне не возникают новые вещества, но может отмечаться переход газообразных веществ в жидкое состояние (кислород, водород) или образование атомных или молекулярных кристаллов (бензол и большинство органических веществ, не содержащих сильных полярных группировок атомов).

Физические взаимодействия существуют и на уровне химической формы движения материи, но можно провести довольно четкую границу между химической и физической формами движения материи на основании одновременного учета двух признаков: во-первых, сохранения или несохранения внутренней структуры молекул вещества, и, во-вторых, сохранения или несохранения атомов, участвующих в данном процессе.

В настоящее время возрастает специализация наук, которая позволяет глубоко изучить не только формы движения материи, но и взаимопереходы между ними. Это в первую очередь касается физической химии, химической физики, биохимии, биоэлектроники, биотехнологии и др. Химическая эволюция создала предпосылки еще большего усложнения молекулярных структур, образования белковых молекул, аминокислот, являющихся основами живых организмов.

От неорганической природы к органической

Возникновение живого – проблема, волнующая человечество на протяжении всего его существования.

Исследования ведутся представителями различных наук во многих аспектах, один из них заключается в стремлении «объяснить возникновение жизни из неорганической природы».

Химическая форма движения материи – пограничная между физической и биологической, высшая в неорганической природе. На ее основе, в процессе химической эволюции, закладываются закономерности перехода от неживого к живому, новейшие данные молекулярной генетики исчерпывающе показали единство человека с животным миром, со всеми формами жизни на Земле.

Необходимо выявить внутреннюю связь детерминированности явлений с их развитием, что включает в себя и эволюцию форм движения материи, переход от низших к высшим. Различие, существующее между химической и биологической формами движения, можно рассматривать как качественное, поскольку форма движения материи – это материя на определенной ступени развития. Биологическая форма движения материи возникает там, где существует возможность жизнедеятельности живых организмов. Биологические системы – это сложные системы, и такие сложные образования не могли появиться в результате только количественного нарастания сложности физико-химических процессов при химической эволюции. Появление новой формы движения материи возможно лишь путем скачка при сцеплении взаимодействующих веществ и энергии в новом системно-структурном положении. Эта системность может быть элементарной, но обязательно качественно новой.

Данные современной науки свидетельствуют, что в основе живого заложены белки и нуклеиновые кислоты (т.е. нуклео-протеиды), являющиеся биополимерными, высокомолекуляр-ными соединениями. По химической терминологии, частицы таких соединений называют макромолекулами, которые образуют огромное количество связанных между собой цепочек. Звеньями макромолекул белка считают аминокислоты, а нуклеиновых кислот – нуклеотиды, т.е. сложные азотистые основания – аденин, тимин, цитозин, гуанин. В состав белка входит двадцать основных и около десяти довольно редких аминокислот, соединяющихся между собой химической полипептидной связью. Полипептидная цепь, являющаяся цепью главных валентностей, составляет первичную структуру

белка. Вторичная (спиральная) структура образуется в основном водородными связями. Третичная структура (глобулярные, или фибриллярные белки) возникает в результате Ван-дер-Ваальсовых и ковалентных связей. Четвертичная структура (комплексные глобулы) появляется с помощью локальных сил, действующих между функциональными группами. Такими силами могут быть, например, кулоновские. Все структуры, которые образуют белок, подчиняются химическим законам и относятся к химической форме движения материи.

Нуклеиновые кислоты, образующиеся из нуклеотидов посредством химической связи, включают в себя пуриновые и пиримидиновые основания, аденин, тимин, цитозин, гуанин и урацил и относятся к химическим соединениям.

Процессы, происходящие на уровне биологической формы движения материи, основаны на физико-химических превращениях. Не существует каких-либо особых законов физики или химии на уровне живого, а возникает специфическое свойство, проявляющееся и в упорядоченности молекулярных структур, и в их способности эволюционировать. Формирование биологического происходит на основе диалектического слияния физико-химических свойств и превращений молекулярных структур, «взятых» из неживой природы, с одной стороны, и тех физико-химических свойств и превращений, которые обретены микроструктурами как составными частями живых систем, – с другой.

Выявление закономерностей и установление основного закона химической эволюции порой сопровождалось непреодолимыми трудностями, которые были связаны с молекулярными (микроскопическими) размерами объектов эволюции и с отсутствием возможности прямого наблюдения морфологических особенностей индивидуальных объектов (что мы имеем в случае биологической эволюции). Поэтому в химии и не могло быть случайного накопления сведений о таких объектах и их систематике в результате прямых наблюдений. В ней могло было быть только теоретическое видение этих объектов, аналогичное тому, как мы «видим» атомы и молекулы веществ, и основанное на обобщениях проявлений их физических и химических свойств.

Направленность эволюции химической формы движения материи проявляется в постепенном усложнении веществ,

образовании предбиологических систем и зарождении в их недрах живого. Сложность уровня организации химических веществ возрастает, т.е. они эволюционируют от наиболее простых соединений к сложным высокомолекулярным образованиям за счет способности к саморазвитию, самоорганизации. Самоорганизация выступает как процесс образования качественно новых систем более высокого уровня организации.

Трудности, связанные с исследованием химической эволюции, заключаются в том, что проблема химической эволюции оказалась в стороне от магистральных путей развития химии не только потому, что она была заложена успехами структурных и кинетических теорий в преобразовании вещества, но и потому, что общие горизонты химии, или уровень ее иерархии отраслей науки, не позволяют дать должную оценку этой проблемы как проблемы эволюционной, естественно-исторической. Химия не знала ни принципов актуализма, которые развивались в геологии, ни эволюционного учения, ставшего теоретической основой биологии. Химия не могла поэтому найти критериев направленности в развитии изучаемых ею субстанциальных форм, не имела возможности по существу указать ступени эволюции вещества и тем более не имела никаких данных для определения движущих сил эволюции. Кроме перечисленного, при изучении химической эволюции возникает проблема, которая, пожалуй, в такой степени не встречается ни в одной из наук и заключается в том, что нет возможности вывести критерий сложности для химической материи в целом.

Образно по поводу понятия сложности написал А.А. Ляпунов: «Понятие сложности имеет относительный характер. Для биолога мозг быка есть сложнейшая система, описание которой требует сотен и тысяч бит, для мясника описание этого же мозга требует не больше 5 бит, так как мозг – всего лишь одна из примерно тридцати частей тела быка, идущих в пищу».

Определить критерий сложности в химии можно только для отдельных классов соединений, потому что в этой науке не существует единой классификации веществ. Вещества разделяются на органические и неорганические соединения. Органические вещества, в свою очередь, делятся на классы алифатических, карбоциклических и гетероциклических

соединений. Существует также классификация химических соединений по их химическим функциям. Это кислоты и основания, соли и окислы, спирты и эфиры, альдегиды и кетоны. Перечисленные классификации не могут отразить объективной сложности вещества в процессе химической эволюции. Сложность химического элемента – это все многообразие его «признаков», т.е. его физическое строение и свойства, химические сущности и качество, выраженные во всей совокупности химических свойств.

В качестве критериев сложности химических элементов предложены два основополагающих признака:

1) способность образовывать многоатомные структуры, в особенности длинные цепи;

2) способность вступать во взаимодействие с тем или иным качественным многообразием элементов. Сложность химического элемента определяется прежде всего тем, какое количество элементов может интегрироваться на базе этого элемента, т.е. какое количество элементов входит в состав образуемых им соединений.

Приведенные критерии сложности для химических элементов – в настоящее время наиболее полные (поскольку чаще всего считают, что критерием сложности является структурно генетическое усложнение). Что касается основных элементов химической эволюции, развитие и усложнение которых на молекулярном уровне приводит к образованию живого, то существует единая точка зрения, что это органогены (углерод, кислород, водород, азот, фосфор, сера). Органогены – самые распространенные элементы, и главную роль среди них играет углерод, что обусловлено его химическими свойствами. Главное из них заключается в образовании соединения с огромнейшим числом элементов, в том числе и устойчивых соединений друг с другом (имеются в виду атомы углерода).

Науке известна лишь жизнь на углеродной основе. Углерод – основной элемент органической химии – непрерывно циркулирует в окружающем нас мире. Мы редко задумываемся над тем, откуда же он взялся. Но оказывается, что всё живое на Земле содержит элементы, когда-то входившие в состав звёзд. Именно в звёздах происходит синтез ядер углерода, а рассеяние их в космическом пространстве происходит в результате вспышек Сверхновых. Следовательно, появлению

всего живого должна предшествовать долгая эволюция звёзд, родившихся и умерших до рождения нашего Солнца. Следует отметить, что и сам синтез атомов углерода оказался удивительным. При полном выгорании водорода в звезде и переходе его в гелий (T = $3 \cdot 10^6$ К, плотность – 10^7 кг/м^3) становится возможным синтез ядер углерода из ядер гелия. При этом должны столкнуться три ядра гелия. Слиянию способствуют два обстоятельства.

Во-первых, при указанной выше плотности ядер гелия (альфа-частиц) в каждом кубическом сантиметре содержится много. Во-вторых, для осуществления слияния трёх ядер гелия необходимо, чтобы ядро углерода имело возбуждённый уровень с энергией 7,7 МэВ, так как при взаимодействии трёх альфа-частиц выделяется именно столько энергии. И такой уровень у атома углерода, действительно, есть. Интересным является то, что астрофизики настаивали на существовании этого эффекта задолго до открытия его физиками. Так как тепловая энергия внутри звёзд оказалась близкой к необходимой, то синтез ядер углерода шёл достаточно интенсивно. И, наконец, ядро углерода образовалось. Но если оно присоединит ещё одну альфа-частицу, то образуется ядро кислорода (^{16}O). Возникает угроза того, что углерода может и не быть вследствие выгорания его и превращения в кислород. Но углерод не может полностью сгореть внутри звезды, потому что резонансная энергия ядер атомов кислорода ниже тепловой энергии ядер углерода. По выражению английского астрофизика Ф. Хойла, «всё здесь выглядит нарочно подстроенным».

Углерод, единственный из всех элементов второго периода периодической системы Д.И. Менделеева, проявляет самую большую валентность – четыре – по обменному механизму образования ковалентной связи за счет неспаренных электронов. Как правило, у углерода не наблюдаются ионные состояния, а наиболее характерным является нейтральное состояние. Таким образом, при образовании соединений с другими соединениями углерод имеет заполненную октетную оболочку инертного газа, что свидетельствует об устойчивости возникающей связи. Атомы углерода способны к образованию координационно насыщенных макромолекул.

В результате взаимодействия углерода и водорода с кислородом образуются эфиры, спирты, кетоны и различные

органические кислоты. Те соединения, в состав которых входит азот, образуют аминокислотный ряд, и в результате химической эволюции возникают аминокислоты – основы полипептидного ряда органических соединений, основных структурных групп белков.

Перечисленные соединения относятся к классу органических, их характерной особенностью является молекулярная форма вещества. Если сравнивать соединения органической и неорганической химии, то обнаруживается, что среди последних (неорганических) очень малое их количество имеет молекулярное строение. Это вода, аммиак, сероводород, углекислота, водород, метан. В основном же неорганические соединения обладают структурой в виде ионных решеток, которые в конечном счете принимают вид кристаллов. Поэтому чаще всего и считают, что объектом изучения неорганической химии выступают кристаллы. Кристаллы конкретного вещества будут иметь одинаковую ионную решетку, в этом заключается их единство, но размеры могут быть различными. Таким образом, получается, что в неорганической химии можно выделить пространственно ограниченные, т.е. молекулярные, и безграничные, кристаллические, формы вещества. Для органической химии характерно единство этих форм. Противоположности на уровне неорганической химии становятся единством на уровне органической химии и приводят к появлению нового качества. По отношению к химической эволюции это означает: «Прогрессивное развитие, или самоорганизация – внутренне обусловленное, определяемое ее противоречиями, опосредуемое совокупностью внешних факторов и ведущее к возникновению качественно новых систем».

К химической форме движения относят атомный, молекулярный и надмолекулярный уровни, и эволюция характеризуется тремя этапами – от атома до молекулы, от молекулы до полимера, от полимера до организма.

Ф. Энгельс подчеркивал, что «... дискретные части различных ступеней (атомы эфира, химические атомы, массы, небесные тела) являются различными узловыми точками, которые обусловливают различные качественные формы существования всеобщей материи». По отношению к органической химии такие узловые точки, обусловливающие

качественные формы существования материи, – это радикалы, представляющие устойчивые группы атомов. Они обладают способностью переходить из одного состояния в другое неизменными.

Способность радикалов образовывать одинаковые химические группы в соединениях называется гомологией, она была открыта в 1842 г. Г. Штилем. Соединения, объединяемые в гомологические ряды, имеют сходные свойства; свойства внутри одного и того же ряда закономерно изменяются при изменении состава соединений на гомологическую разность – группу CH_2, что дает возможность предсказывать свойства еще неизвестных соединений определенного ряда на основании известных свойств соединений того же гомологического ряда. Гомологическое усложнение молекул приводит к их качественным изменениям, которые характеризуют одну из основных особенностей развития, т.е. появление системы с новым качеством, самоорганизацию системы и направленность развития, в данном случае от низшего к высшему. Химические системы саморазвиваются на основе различных свойств, которые предопределяются их структурными особенностями и через преемственность в развитии образуют иерархию различных уровней.

На уровне органической химии начинается усложнение с простейших веществ и ведет к прогрессивному развитию в химической эволюции. Основными химическими элементами, с которых начинается усложнение в гомологических рядах, являются углерод и водород, критерий сложности этих элементов проявляется через способность вступать в различные типы реакций и образовывать длинные цепи макромолекул и полимеров. Переход от молекул к макромолекулам – это уже новый структурный уровень вещества, более высокий, более сложный по типу организации химических соединений. Качественно новый уровень отличается от более низкого, но сохраняет в себе основное противоречие, которое заложено в природе типичных органических молекул и заключается в том, что: 1) такие молекулы способны к многообразным связям с окружающей средой; 2) им внутренне присуще самодвижение.

Углерод присутствует во многих неорганических соединениях и во всех органических. «В способности

выдержать, вынести противоречие» – тайна углеродных соединений как носителей жизни», и таким образом можно объяснить способность химических соединений к саморазвитию и самоорганизации на всех структурных уровнях. Это, несомненно, один из важных этапов химической эволюции, но в то же время необходимо отметить, что не все системы более низкого структурного уровня полностью эволюционируют в высшие, чем и объясняется существование систем различного уровня организации. В химической эволюции, аналогично биологической, тоже существует фактор отбора. Хотя отметим, что на самых ранних стадиях предбиологической химической эволюции «отбор» не означал ничего другого, как проявление тенденций, присущих исходным материалам, самим взаимодействовать с энергией и с окружающей средой на основании общих законов. Концепция отбора в данном случае неприменима совсем. «Предопределенная упорядоченность» – более удачный термин. Но тем не менее, применение термина «отбор» вполне правомерно. Решение этой проблемы включает в себя термодинамический подход, информационный, кинетический, каталитический, биологический отбор химических элементов и отбор структур.

Естественный отбор в химической эволюции – это «творческое сито», которым пользовалась природа, чтобы постепенно, шаг за шагом ставить каждый раз на все более высокую ступень химической организации только такие системы, которые выделялись своими особыми качествами, а именно: максимальной мобильностью как внутренних связей между элементами, так и связей с внешним окружением. Поэтому появляется значительно большая вероятность возникновения тех систем, которые обладают способностью на протяжении какого-то времени существовать в условиях непрерывного взаимодействия с окружающей средой, и проявляется важность качественной особенности химических систем, поскольку эволюционировать могли лишь некоторые из них. Отсюда следует, что направленность химической эволюции зависит как от внутреннего, так и от внешнего.

При изучении химических процессов внешнее определяет состояние всей системы, поскольку постоянные условия могут поддерживать сколь угодно долго состояние химического равновесия или вызывать в результате внешнего воздействия

любые изменения. Для начала любой, самой простой реакции требуется внешнее воздействие. Необходимость внешней энергии для поддержания химического процесса на планете связана с тем, что сам по себе он конечен, ограничен, склонен к затуханию. К внешним факторам, оказывающим влияние на химическую эволюцию, относятся конкретные для каждого случая температура, давление, катализаторы, сами химические соединения и различного рода излучения. При этом следует отметить, что внешние факторы могут влиять на химические соединения какого-то одного уровня и не оказывать такого же воздействия на соединения другого уровня. Но самое главное в том, что когда начинается процесс химического взаимодействия под влиянием внешних факторов, то они становятся условиями протекания процесса и из внешних становятся внутренними. В любом случае взаимодействие внешних и внутренних факторов приводит к возникновению качественно новых систем с более высоким уровнем организации, а направление химической эволюции определяется в основном, если не постоянно, теми ограничениями, которые присущи самим реагирующим молекулам.

Изучение молекулярной формы вещества позволило открыть качественно новые химические соединения – полимеры, что свидетельствует об усложнении вещества на уровне химической формы движения материи. Полимеры качественно отличаются от других веществ, поскольку состоят из цепей, и в их структуре объединены два противоположных агрегатных состояния вещества, т.е. жидкое и твердое. Такая структура характеризует качественно новое состояние вещества, при котором сильно возрастает роль межмолекулярных взаимодействий, позволяющих образовывать новые структурные формы полимеров, что невозможно в случае многополимерных молекул. Макромолекулы, образующие полимеры, объединяются в длинные цепи, звенья которых представляют группы из химически связанных атомов. Эти звенья могут быть одинаковыми, разными, могут чередоваться и объединять в своем составе сотни тысяч.

По сравнению с молекулами, макромолекулы отличаются очень большим количеством групп из химически связанных атомов и тем, каким образом они связаны между собой. Различие существует и в том, что в молекуле изменение одного

атома влечет за собой изменение свойств всей молекулы, а у макромолекулы количество химически связанных атомов можно уменьшить или увеличить, но свойства ее при этом почти не меняются. Это объясняется тем, что на уровне макромолекул возникает новое качество, характеризуемое более высоким уровнем организации, на котором образуются различные конфигурации одной и той же молекулы путем поворота, свертывания атомных цепей и их изгиба, что влечет за собой возможность создания мостиковых групп и сближение удельных функциональных групп. Подобные изменения конфигураций макромолекул лежат в основе механизмов биохимических процессов. Общую природу с этими явлениями представляют собой денатурация и ренатурация белка, а также закручивание и раскручивание спиралей нуклеиновых кислот и некоторые иммунохимические процессы. Установлено, что изменение конфигурации макромолекулы обусловливает передачу нервного импульса, большое количество ферментативных реакций и мышечное сокращение.

К новому качеству по сравнению с молекулами относится и свойство звеньев макромолекул, находящихся друг от друга на значительном расстоянии, относительно самостоятельно участвовать в разного типа химических процессах, но при этом сохранять свою целостность. Сами по себе радикалы, из которых состоят макромолекулы, очень реакционноспособны и в обычных условиях существуют очень короткое время, но когда они входят в состав химического соединения (например, макромолекулы), то проявляют поразительную устойчивость. Устойчивость макромолекулы проявляется как внутреннее свойство. Под воздействием внешней среды в таких системах начинается взаимодействие, в результате чего возникают качественно новые системы, т.е. продолжается процесс самоорганизации химических соединений в процессе химической эволюции. Устойчивость систем – один из факторов химической эволюции, поскольку неустойчивые системы распадаются еще до того, как может начаться их взаимодействие. Этим объясняется тот факт, что далеко не все химические системы способны эволюционировать, существуют системы различных структурных уровней организации. Самоорганизация на уровне химической формы движения

материи осуществляется за счет физико-химических превращений.

В основе химической эволюции заложена тенденция саморазвития, внутренне обусловленная существованием противоположностей в химических соединениях. В структуре всех органических соединений заложена как бы двойственная природа, заключающаяся в том, что они одновременно являются основанием и кислотой, и это противоречие обусловливает большое разнообразие их свойств и возможностей взаимодействий и превращений. Кроме этого, для соединений органической химии характерно наличие противоположных процессов синтеза и распада, полимеризации и деполимеризации, электрофильных и нуклеофильных превращений. Прослеживается общее для всей материи единство устойчивости и изменчивости, покоя и процесса.

Познание основных закономерностей зарождения и развития макромолекул позволяет выявить основные тенденции перехода от химических структур к биологическим.

Двойственная природа химических соединений обусловлена двойственной реакционной способностью вещества, определяющей направление реакции. Реакционная способность, объединяя в себе состав, строение и те факторы, которые вступают в силу только после начала химического процесса, являются выражением внутренней возможности вещества. На основе возможностей, которые объединяет в себе реакционная способность, происходит большое количество реакций и образование новых веществ, совершенно не соответствующих структуре исходных. Таким образом, происходит образование веществ с более высоким уровнем организации, усложнение вещества в ходе химической эволюции.

Направленность химической эволюции от атомов к молекулам, далее – к полимерам характеризуется постоянным качественным усложнением вещества, в результате которого появляется совершенно новое качество – живое, принципиально отличающееся от всего существовавшего ранее, но вместе с тем основывающееся на физико-химических превращениях вещества. В некотором смысле живые системы можно сравнить с хорошо налаженным фабричным производством: с одной стороны, они являются вместилищем многочисленных

химических превращений, а с другой – демонстрируют великолепную пространственно-временную организацию с весьма неравномерным распределением биохимического материала.

Белковые вещества являются полипептидами, содержащими около двадцати различных аминокислотных остатков, соединенных друг с другом в произвольной последовательности и образующих бесчисленное множество изомеров. Из 20 различных аминокислот можно образовать 2 439 902 008 176 640 000 комбинаций. Последовательность аминокислот определяют физические, физико-химические и биологические свойства белков, т.е. белки обладают и химической, и биологической индивидуальностью. То же относится и к нуклеиновым кислотам, которые являются полимерами, построенными из мономеров нуклеотидов.

В 1976 г. В. Фирс (Бельгия) определил полную химическую структуру первого живого организма – бактериофага MS_2 и вывел его химическую формулу. Он представлял собой нить РНК из 3569 нуклеотидов, 180 одинаковых белковых молекул и 1 молекулы А-белка, которая определяла форму оболочки организма. В настоящее время расшифрованы структуры более 100 нуклеиновых кислот. Белковые тела обладают тончайшей химической индивидуальностью. Именно такие соединения представляют химическую основу жизни.

Развитие вещества на уровне химической формы движения материи достигает такой высокой степени организации структурных образований, что является качественно новым типом целостности с новыми свойствами – свойствами живого. Происходит переход от химической формы движения к биологической, которая становится главной. Граница между живой и неживой природой проходит на уровне клетки, поскольку она представляет собой единственную известную нам материальную систему, обладающую всей полнотой свойств жизни. Только целая клетка обладает свойствами саморегуляции и самовоспроизведения. Она несет в себе запись генетической информации, представляющей собой итог эволюционного развития вида и основу всей его будущей эволюции. Установлено, что главные процессы в организме основаны на физико-химических превращениях, т.е. они входят в биологическую форму движения, но начинают приобретать

новую специфику, становятся биохимическими и биофизическими в соответствии с новым типом целостности живой системы. Получается, что химическое как таковое остается, но начинает подчиняться биологическим закономерностям. В основе живого лежит химия биополимеров, в первую очередь химия белков и нуклеиновых кислот, но на уровне живого у них появляется целый ряд качественно новых свойств, которые невозможно выявить на уровне химической формы движения материи.

Между химической и биологической формами движения прослеживается структурно-генетическая связь, эволюционный переход от более низкой формы движения материи к более высокой. Соответственно трансформируются и законы, характерные для химической формы движения материи, одни из них вообще перестают действовать или не имеют уже важного значения, другие же приобретают еще большее значение, и область их применения увеличивается. На каждой ступени господствуют другие законы, т.е. другие формы проявления одного и того же универсального движения. Таким образом, абсолютно всеобщим значением обладает одно лишь движение.

Химическая эволюция достигает высшей стадии на уровне предбиологических систем, а затем происходит переход к живому и в действие вступают законы биологической эволюции. Физические и химические законы на уровне неживой и живой материи едины, но различаются по способам их проявления. На уровне живого наблюдается связь с предбиологическими системами через эволюционирующий химизм, заложенный в основе живого. Именно в способности химизма эволюционировать и заложена возможность перехода на совершенно новый качественный уровень развития вещества – на уровень биологической формы движения материи. Осуществляется химический эволюционизм через саморазвитие и самоорганизацию химических систем. Самоорганизация на уровне химических систем является следствием физико-химических взаимодействий. «По мере повышения уровня самоорганизации систем развивается их отражательная функция – способность к взаимоотражению. Этой способности предстоит сыграть ведущую роль именно в биологических системах, а в химических системах отражение и тесно связанная с ним информация не играют определяющей роли», поскольку

«информация, рассматриваемая как отраженное разнообразие взаимодействующих систем, выступает в неорганических системах не как причина самоорганизации, а как ее следствие. Поэтому причину и направление самоорганизации в неорганической природе необходимо усматривать в исходном, развертывающемся и становящемся взаимодействии, одной из главнейших сторон которого и выступает информация, но не в информации самой по себе».

В процессе химической эволюции на молекулярном уровне (от атомов к молекулам и далее к полимерам, т.е. предбиологическим системам) наиболее важную роль играют химические процессы, поскольку осуществляется развитие от низшего к высшему, от простого к сложному на уровне химических реакций, с химическими веществами, образующими белковые молекулы – основу сложных биологических структур.

В результате различного рода взаимодействий происходит усложнение вещества, образование систем с новым качеством, что обусловливает одну из специфических черт химической науки, отличающую ее от других областей знания. К характерной черте химического процесса относится образование нового качества.

Все химическое состоит из трех элементарных частиц (протон, нейтрон и электрон) и образует 112 химических элементов. В основе живого заложены 6 элементов органогенов (углерод, водород, кислород, азот, фосфор, сера) и 12 химических элементов (натрий, калий, кальций, магний и т.д.), которые могут образовывать биополимеры. Все живое состоит из 20 а-аминокислот L-ряда, 5 пуринов и пиримидинов, нескольких моносахаридов D-ряда, фосфорной кислоты, воды и некоторых других. Высшая ступень неорганической природы в настоящее время представлена биоорганическими соединениями – рибонуклеиновыми кислотами, нуклеотидами, белками, ферментами, обеспечивающими обмен веществ. На каждой фазе космической эволюции от возникновения элементов до появления протоклеток наблюдается явное стремление преимущественного развития в направлении живых систем, основанных на углероде, тенденции химической эволюции выходят из тех или иных химических и физических соединений углерода.

Возникновение живого представляет собой качественный скачок, при котором происходит образование предбиологической системы из химических соединений атомно-молекулярного уровня, сопровождающееся дальнейшим развитием такой системы, основанной на физико-химических превращениях. Поэтому любое биологическое свойство имеет в своей основе соответствующее свойство физико-химического уровня – способность хранения биоинформации – способность к ковариантной редупликации, матричный синтез макромолекул; мутабильность – подвижность, заменяемость звеньев макромолекулярной цепи; устойчивость генетического кода – стабильность ядерного остова макромолекул и т.д.

Химическую эволюцию на молекулярном уровне можно представить в виде ряда этапов, характеризущихся усложнением вещества от простейших неорганических и органических молекул к малым биомолекулам, затем к сложным органическим соединениям и биополимерам, далее происходит образование надмолекулярных систем биополимеров, а их усложнение приводит к образованию живого. Молекулярный аспект химической эволюции выявляет усложнение химических веществ на основе их самоорганизации, а затем начинают проявляться основные принципы самоорганизации, характерные для биологической формы движения материи. Закономерности перехода от неживого к живому осуществляются только через усложнение химизма, через химические превращения, которые лежат в основе биологических закономерностей.

Огромную роль в химической эволюции сыграл катализ. Катализом называется изменение скорости химических реакций под действием катализаторов, веществ изменяющих скорость химических реакций, участвующих в промежуточном химическом взаимодействии, но восстанавливающих свой химический состав после каждого цикла взаимодействия Именно участие в процессах эволюции каталитических систем, особенно воды, смогло обеспечить не только ускорение тех или иных химических процессов, но и усложнение химических веществ.

К живому через каталитические системы

Глубинный механизм химических превращений можно постичь, в частности, через химическую реакцию как одну из

возможностей химического существования. В связи с этим наблюдается тенденция перехода от структурных теорий к кинетическим. Структурные теории изучают состав, свойства и структуру вещества, т.е. что превращается. Кинетические теории дают ответ на то, каким образом происходят превращения, позволяют выявить глубинный механизм химизма. Во всех современных теориях эволюции отмечается, что различным ступеням эволюционирующих систем отвечали различные по уровню типы катализа. Высшей ступени эволюции соответствует высокоспецифический катализ посредством белков и ферментов.

Ферментативный катализ осуществляется белковыми молекулами ферментов, находящимися в живом организме или выделенными из него. На основе учения о катализе произошло в некотором роде объединение органической химии и биохимии, т.е. взаимообогащение двух наук, заключающееся в том, что через биологические катализаторы живых систем в химии стали изучать пространственную и временную организацию сложных химических превращений. Это потребовалось для установления функциональных характеристик каталитических систем, в первую очередь способных к саморегуляции. Возможность создания высокоспецифичных аналогов биокатализаторов, обладающих всеми свойствами ферментов, но действующих в других условиях, по-прежнему еще далеко не полностью реализована.

Биологические катализаторы-ферменты в 10^6–10^{10} раз активнее небиологических катализаторов и обладают избирательностью при протекании той или иной реакции. К достоинствам биологических катализаторов относится и то, что они способствуют процессам, протекающим в природе при обычных давлении и температуре.

Н.Н. Семенов в своих исследованиях в области цепных реакций установил, что значительное количество химических процессов в своей основе – это сложные многоактные превращения, в которых решающую роль играют довольно реакционноспособные короткоживущие промежуточные продукты. Особенно выделяются свободные радикалы, ионы и комплексы. Это активные центры, которые создаются из реагирующих молекул. От того, как они образуются и как ведут себя, во многом зависят скорость и механизм химических

процессов. Химическая реакция является многокомпонентной и многофакторной системой, включающей состав, активность и специфику действия катализатора, реакционную способность, энергию активации, активированный комплекс и т.д. Активированный комплекс выступает как центральное, узловое понятие современной теоретической химии, во-первых, потому, что обладает всеобщностью: нет межмолекулярного химического процесса, в том числе и каталитического, который не проходил бы через эту стадию; во-вторых, переходное состояние является узловым понятием теоретической химии потому, что концентрирует вокруг себя все ее методы, все подходы к решению химических задач – от квантово-механических до сугубо эмпирических. Его анализ требует и физических, и химических, и биогенетических методов исследования. Тем самым переходное состояние становится центральным связующим звеном между физикой и биологией.

Переход от физической формы движения материи к биологической происходит с помощью химических реакций, включающих в себя этап переходного состояния, который, будучи моментом химического самодвижения, реализует истинную диалектику химизма; в нем материя напряжена, беспокойна, активна, противоречива. Изучение переходного состояния представляет собой, образно говоря, «изучение анатомии скачка от старого к новому в развитии материи, ... обнаружение того, как же осуществляется переход количественных изменений в качественные в сфере химизма. Исследование этой анатомии зависит от специфических особенностей объекта».

На уровне переходного состояния вещество начинает обретать черты нового качества, и проявляется направленность химической реакции за счет того, что все время уменьшается величина энергии для начальных компонентов и увеличивается для тех, которые образуются.

Механизм химической реакции наиболее глубоко разработан на основе кинетических теорий и явлений катализа, о чем, в частности, свидетельствует тот факт, что «семеновские уравнения разветвленных химических реакций описывают горение и взрыв, они воплощены в работе атомного реактора, в атомной и водородной бомбах, в теории раковой опухоли ... Семеновские уравнения охватывают не отдельные явления, а

всю природу в целом». Общим для всех химических реакций можно назвать то, что механизм реакции, т.е. процесс химического превращения, включает в себя несколько отдельных соединений, связанных друг с другом; в любой реакции всегда на каком-то этапе образуется активированный комплекс (переходное состояние); наиболее активными в химическом процессе выступают такие химические частицы, которые способны к саморазвитию и являются моментом химического самодвижения.

В классическом катализе природа, активность и специфичность катализатора, механизм каталитического акта и каталитического действия считаются постоянными величинами. Результаты исследований показали, что существуют явления, при которых происходят физические и химические изменения катализаторов в процессе катализа, и при этом наблюдается энергетическое сопряжение процессов. Такие явления относятся к области простейших проявлений саморазвития каталитических систем, выявляющих в основном функциональный (в данном случае кинетический) аспект химической эволюции.

Самые значительные результаты в этой области достигнуты А.П. Руденко, изучившим особенности всевозможных микроскопических и макроскопических объектов химии для обнаружения в них комплекса свойств, необходимых для прогрессивной химической эволюции. На основе теории саморазвития открытых каталитических систем стало возможным выявить основной закон эволюции каталитических систем, специфику их организации и основные этапы предбиологической эволюции. Обнаружено, что элементарные открытые каталитические системы обладают тем необходимым комплексом свойств, которые являются объектами химической эволюции, и что любое свойство живого обязательно имеет своего предшественника в свойствах неживых открытых каталитических систем. Сущность химической эволюции заключается в процессе необратимых последовательных изменений элементарных открытых каталитических систем. Объектом химической эволюции является элементарная открытая каталитическая система, в ней сочетаются структуры, образующие единый химический континуум. Выявлена общая эволюционная закономерность, т.е. принцип, по которому осуществляется самоорганизация каталитических систем. Эта

закономерность сводится к принципу наибольшей вероятности и наибольшей скорости осуществления наиболее прогрессивных каталитических путей развития каталитических систем.

На основе выявленной закономерности определены главные особенности процесса саморазвития каталитических систем и становится известным направление, по которому с наибольшей вероятностью, при соответствующих условиях, может происходить саморазвитие каталитических систем, а также причины этого процесса и его механизм. По мнению А.П. Руденко, установленные закономерности можно считать основным законом эволюции каталитических систем, принципом их самоорганизации, который можно сформулировать «... как принцип наибольшей степени превращения центров катализа на наиболее прогрессивном пути развития каталитических систем».

В настоящее время установлено четыре типа элементарных химических систем – это элементарные некаталитические и каталитические; элементарные открытые некаталитические и каталитические системы. Переход от простых каталитических систем к более сложным связан с появлением нового качества, характеризующего степень организации кинетической сферы сложной каталитической системы, т.е. усложняющегося в процессе эволюции.

В эволюционном катализе по сравнению с классическим обнаружены изменения самих катализаторов – кристалло-структурные и адсорбционно-физические; в результате эволюция на основе неорганических соединений переходит в эволюцию с участием органических соединений, и увеличиваются возможности эволюционных превращений.

Все объекты химического познания можно разделить на объекты с равновесной структурной организацией вещества (молекулы и другие полиатомные образования, характеризуемые устойчивым порядком взаимодействия атомов, т.е. со статической структурой) и объекты с неравновесной структурной организацией вещества. К ним относятся элементарные химические системы, которые можно характеризовать как переходные состояния в динамике, где, как правило, можно фиксировать все пространственно-временные фазы перехода от начала химического процесса до получения конечного результата. Такие химические системы с динамической структурой на первый взгляд тоже стремятся к динамическому

уравновешиванию. Самодвижение к равновесному состоянию наблюдается для всех систем на уровне неживой природы. Например, для каталитических процессов переход в наиболее равновесное состояние происходит по своим законам, и из всех возможных процессов протекают наиболее вероятные. Их эволюция направлена на то, чтобы процессы ускорялись и достигали динамического равновесия. Равновесие в химии позволяет выявлять новое качество системы в какой-то конкретный промежуток времени. В процессе химической эволюции наблюдается парадоксальная ситуация, при которой системы все более удаляются от равновесия, и их характерным свойством становится стационарное неравновесие.

Наиболее общая закономерность для эволюции на уровне химической формы движения материи – самоорганизация, проявляющаяся через эволюцию каталитических систем. В процессе химической эволюции А.П. Руденко отмечает ряд закономерностей, которые как бы выражают частные проявления закона эволюции. К ним относятся: определенный ход изменений состава и строения центров катализа в направлении образования нового качества, определяемого кинетическим и энергетическим законами развития; последовательность смены этапов эволюции; превращение простых каталитических систем в сложные; уменьшение термодинамической устойчивости каталитических систем и формирование охранных механизмов, пространственной ограниченности и надструктуры сложных каталитических систем и т.д.

Эволюцию каталитических систем в виде физико-химических форм проявления основного закона можно представить как последовательно сменяющие друг друга этапы, характеризуемые усложнением организации и возникновением нового качества. Простые каталитические системы эволюционируют в сложные, монофункциональные центры катализа – в полифункциональные, простая базисная каталитическая реакция – в сеть связанных с нею и между собой последовательных реакций; простейшие гомогенные системы, состоящие из неорганических веществ, – в гомогенные системы неорганических и органических веществ, а затем снова к микрогетерогенным системам органических катализаторов и т.д. В состав микрогетерогенных систем могут входить органические

вещества, типичные составные части организмов (белки, полинуклеотиды, липиды, углеводы). При переходе от химической эволюции к биологической все особенности вещественного состава, неравновесной структурной и функциональной организации систем, типа обмена веществ, вновь приобретенные свойства и функции – все, что входит в понятие природы и химического поведения элементарных открытых каталитических систем, переходит в готовом виде к живым системам, составляя их фундаментальные свойства. У живых систем появляется при этом всего лишь одно специфическое свойство точной пространственной редупликации систем в целом, дальнейшее развитие и усложнение которого представляет внутреннее физико-химическое содержание последующей биологической эволюции.

Концепция А.П. Руденко – новое направление в науке, где на основе естественно-исторического подхода разработана теория эволюционного катализа, явившегося основой эволюционной химии. В качестве объекта эволюции рассматривается не молекула, а элементарные открытые каталитические системы, образующие единый кинетический континуум. Химическая эволюция с таких позиций предстает как самоусложняющийся химический процесс, протекающий в элементарных открытых каталитических системах. Высший этап химической эволюции сложных каталитических систем заканчивается, если система достигает способности к самовоспроизведению.

На уровне живого огромное количество химических процессов проходит таким образом, что они являются не только выражением химизма, но и образуют качественно новую целостность, обусловленную генетически, функционально, морфологически взаимодействием между клетками, тканями и органами. Биохимические превращения в процессе метаболизма – это химические реакции, которые в первую очередь происходят по законам химической науки. Вместе с тем такие реакции протекают не изолированно, как бы это было на уровне химической формы движения, а включены в общую систему метаболизма. Они (химические реакции) должны подчиняться новому типу целостности – живому, с учетом его взаимодействия со средой. На основе физико-химических превращений осуществляются биологические функции живого, и

в процессе взаимодействия со средой начинают зарождаться и развиваться те новые закономерности, которые в дальнейшем будут направлять развитие не только живого организма, но и всего органического мира.

На уровне биотической формы движения материи появляются качественно новые свойства, их не может быть на уровне физической или химической форм. К ним относятся: особенности биологического обмена веществ, специфика химического состава живой материи, саморегулирование при протекании биохимических превращений, специфическая организация системного протекания жизненных процессов, специальные механизмы хранения и переработки информации, целесообразность жизненных систем. На уровне биологической формы движения материи происходит как бы «биологизация» высокоорганизованных химических систем, т.е. предбиологических. Новая информация, поступающая в мозг, закрепляется благодаря синтезу химических соединений. Наследственная информация, которая передается от родителей к детям, записана химическим языком. Именно последовательностью нуклеотидов в генах (в блоках молекулы ДНК) и аминокислот определяется строение и работа клеток, тканей, органов. Биологическая эволюция является порождением общей эволюции Вселенной и основана на химической эволюции. Химия, как и все науки о природе, изучает не только законы естественной природы, но и тех явлений, которые возникли в результате деятельности человека. Исследователь-естественник XX в. далеко ушел от идиллического представления старомодного натуралиста, который надеялся проникнуть в тайны природы, подстерегая бабочек на лугу. Кардинально изменилась и познавательная ситуация, характеризующаяся взаимодействием субъекта, объекта, условий и средств познания, в ней значительно возрастает активность субъекта. Сбывается предвидение К. Маркса, что «естествознание включит в себя науку о человеке в той же мере, в какой наука о человеке включит в себя естествознание: это будет одна наука».

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что мы называем Вселенной?
2. Каковы размеры Вселенной?
3. Какие единицы для измерения расстояний во Вселенной мы используем?
4. Что означает выражение «световой год»?
5. Какие теории возникновения Вселенной Вам известны?
6. Как рассматривается проблема образования Вселенной в Библии?
7. Поясните суть теории Большого взрыва.
8. Какие основные этапы развития Вселенной произошли после Большого взрыва?
9. Какие экспериментальные факты можно привести в доказательство теории Большого взрыва?
10. Как Вы понимаете эффект Допплера?
11. Могут ли образовываться звезды во Вселенной в наше время?
12. Какие известные галактики входят в нашу Вселенную?
13. Сколько звезд может видеть человек невооруженным взглядом?
14. Какие приборы применяют астрономы для исследования космоса?
15. Какие ученые-астрономы Вам известны?
16. Как Вы считаете, есть ли космический разум?
17. Есть ли жизнь на других планетах в Космосе, кроме Земли?
18. Какие теории образования планет Солнечной системы Вы знаете?
19. Какие планеты входят в состав Солнечной системы? Назовите их.
20. Какие космические тела, кроме планет, входят в состав Солнечной системы?
21. Какие ученые разработали геоцентрическую систему?
22. Какой ученый доказал, что Солнце является центром Солнечной системы?
23. Какие реакции служат источником энергии Солнца?
24. Какие химические элементы обнаружены на Солнце?
25. Какой элемент был впервые обнаружен на Солнце?
26. Какой вклад внесли советские и российские ученые в исследование Солнечной системы?

27. Чем отличаются планеты земной группы от планет-гигантов?
28. Почему Земля оказалась наиболее пригодной для возникновения и развития жизни?
29. Какова форма Земли?
30. Какие оболочки Земли известны?
31. Какие элементы составляют основу земной коры?
32. Какие элементы называют редкими, а какие – рассеянными?
33. Почему в основе всех живых организмов лежит углерод?
34. Каковы особенности химии углерода?
35. Какие элементы относят к органогенам?
36. Каковы основные этапы химической эволюции?
37. Каковы концептуальные уровни развития химической формы движения материи?
38. В чем проявляется естественный отбор в химической эволюции?
39. Как происходит усложнение вещества в ходе химической эволюции?
40. Почему возможна химическая эволюция?
42. Каково влияние солнечной активности на человека?

Глава 4

Эволюция – история жизни

Природа жизни, ее происхождение, разнообразие живых существ и объединяющая их структурная и функциональная близость занимают одно из центральных мест в биологической проблематике.

В этой главе мы попытаемся изложить и обсудить различные теории возникновения жизни и возможные способы видообразования. В изучении истории жизни всегда проявлялась склонность к доктринерству. Доктринерство можно определить как сознательные попытки внедрения слепой приверженности к какому-либо убеждению или учению. Подобный подход не только далек от научного, но и интеллектуально нечестен, и мы постараемся избегать его в этой книге. В настоящей главе будут кратко изложены наиболее распространенные теории происхождения жизни, чтобы отразить представление о различии разных точек зрения на характер этого события. Большая часть соображений, на которых основываются эти теории, умозрительны, так как воспроизвести в сколько-нибудь наглядном виде события, происходившие при возникновении жизни, невозможно. Это относится как к научным, так и к теологическим построениям. Однако одна теория – теория эволюции – все больше и больше воспринимается не как некая отдельная метафизическая теория, а как совокупность ряда научных гипотез, каждая из которых поддается проверке.

В этой главе изложены научные данные, отобранные так, чтобы создать связную картину процессов, лежащих в основе происхождения живых организмов и их разнообразия. Ввиду неизбежности такого отбора, картина не может быть абсолютно объективной, как, впрочем, и при изложении любой другой проблемы, относится ли она к истории или к естественным наукам. Однако, подчеркивая ограничения, присущие фактическим данным и принимаемым допущениям, автор старался придать представленной здесь картине ту степень объективности и гипотетичности, которая должна быть свойственна доброкачественному научному обзору. Следует особо отметить, что собранные в этой главе данные и выведенные из них заключения соответст-

вуют сегодняшним взглядам: эти взгляды постоянно пересматриваются, и их достоверность ограничена уровнем наших знаний на настоящий момент.

Придерживаясь принципов системного подхода, будем рассматривать огромное разнообразие форм и явлений живой природы также с точки зрения уровня определяющих их биологических структур. Хотя подобное изучение и не следует тому историческому пути, каким развивалась биология, но оно даст возможность теоретически представить, как могли возникнуть первые живые системы на Земле и как происходил процесс эволюции от простейших и менее организованных систем к системам более сложным и высокоорганизованным. Исторически биология развивалась как описательная наука о многообразных формах и видах растительного и животного царства. Поэтому важнейшее место в ней заняли методы анализа, систематизации и классификации огромного эмпирического материала, накопленного натуралистами.

Биология – это наука о живой природе. Но дать точное определение жизни очень трудно, несмотря на то, что живые организмы обладают рядом признаков, которые отсутствуют у большинства неживых систем. Однако среди этих признаков нет ни одного такого, который был однозначно приписан только живому. Видимо, лучшим способом описания живого может явиться перечисление свойств живых организмов.

1. Живые организмы характеризуются высокоупорядоченным строением. Химические вещества, из которых построены живые организмы, гораздо сложнее и достигают более высокого уровня организации, чем вещества составляющие неживые организмы. Химическая организация отражается в упорядоченности структуры и функций любого организма.
2. Живые организмы получают энергию и используют ее на поддержание и усиление своей высокой упорядоченности из окружающей среды. Большая часть организмов прямо или косвенно используют солнечную энергию. Так, зеленые растения используют солнечную энергию для синтеза питательных веществ, которые потребляются как самими растениями, так и другими организмами, живущими на Земле. Все организмы используют энергию, содержащуюся в пище, для поддержания своего существования, роста и размножения.

3. Живые организмы активно реагируют на окружающую среду. Если толкнуть камень, то он пассивно сдвинется с места. Животное же реагирует очень активно. Оно или убегает, или приближается, свертывается в клубок, оскаливается и т.д. Растение реагирует медленнее, но не менее активно. Стебель и листья поворачиваются к свету, корни растут вниз и т.д. Способность реагировать на внешние воздействия – это универсальное свойство всех живых существ.
4. Живые существа развиваются. Все изменяется с течением времени, но особенно сложным и упорядоченным образом изменяются живые организмы. Их изменение мы называем развитием. Так, у растения развиваются новые ветви, у животного - новые органы, отличающиеся по составу и по структуре от породивших их структур или химических веществ.
5. Все живое размножается. Новые живые организмы (бактерии, растения, животные, грибы и т.д.) возникают только в результате размножения других таких же организмов.
6. Информация, необходимая каждому организму для выживания, размножения и развития расщепляется в нем и передается от каждого индивидуума его потомкам. Эта информация содержится в генетическом материале (хромосомах и генах) организма. Генетический материал определяет возможные пределы развития организма, его структур, функций, реакций на окружающую среду. Этот материал передается потомкам данного организма. Поэтому потомки похожи на своих родителей. Но генетическая информация все же несколько изменяется, так что родители и потомки обычно бывают сходны, но не идентичны.
7. Живые организмы адаптированы к своей среде. Все живые организмы и их органы хорошо соответствуют своему образу жизни. Достаточно ознакомиться со строением рыбы, лягушки или дождевого червя, чтобы в общих чертах представить себе, как они живут. Особенности строения, функций и поведения данного организма, соответствующие его образу жизни, называются адаптациями.

Номенклатура и классификация организмов

Система классификации живых организмов, которой мы пользуемся, была создана в XVIII в. шведским ученым К. Линнеем. Он присвоил каждому виду организмов биноминальное название, т.е. название, состоящее из двух слов. Далее он разделил разные виды организмов по все более крупным и широким категориям. Система классификации Линнея была основана на сходстве строения, то есть на объединении в одну группу форм, сходных друг с другом. Например, деревья с похожими листьями и корой. Затем биологи поняли, что организмы, по всей вероятности, происходят от одной или нескольких ранних форм жизни. Поэтому представлялось более естественным классифицировать организмы на основе их эволюционного родства. Но при этом большое значение придается сходству строения как свидетельству о родственных связях. Поэтому многие группы, выделяемые по старой и новой системам, совпадают.

Основной единицей классификации служит вид – группа организмов, связанных достаточно близким родством, чтобы скрещиваться между собой. Каждый вид относится к тому или иному роду, который может содержать также и другие виды, сходные с данным. Роды объединяются в семейства, а семейства – в отряды и т.д. каждая последующая группа более высокого ранга содержит большее число видов, связанных более отдаленным родством. Пример положения одного из представителей царства животных и царства растений представлен в таблице 4.1.

Таблица 4.1

	Человек	Рудбекия
Царство	Animalia	Plantae
Тип	Chordata	Tracheophyta
Класс	Mammalia	Angiospermae
Отряд (порядок)	Primates	Asterates
Семейство	Homminidae	Compositae
Род	Homo	Rudbeckia
Вид	sapiens	hirta

Упоминая о том или ином виде, следует указывать его родовое или видовое названия, например Homo sapiens, Rudbeckia hirta. Это связано с тем, что видовое название часто бывает банальным (hirta просто означает “опущенная”), а многие организмы

могут иметь одинаковые видовые названия: Hepatica americana – печеночница американская, Erythronium americanum – кандык американский и т.д.

Присваивая названия организмам, необходимо соблюдать определенные правила, иначе разные лица могут пользоваться различными названиями для одного и того растения или животного или одно и тоже название будет применяться к разным организмам в разных странах. Это регулируется международными комиссиями по номенклатуре: одной для растений, другой – для животных, третьей – для бактерий. Научные названия даются по-латыни.

Первые классификации растений, наиболее известной из которых была система К. Линнея (1707–1778), а также классификация животных Ж. Бюффона (1707–1788), носили в значительной степени искусственный характер, поскольку не учитывали происхождения и развития живых организмов. Тем не менее, они способствовали объединению всего известного биологического знания, его анализу и исследованию причин и факторов происхождения и эволюции живых систем. Без такого исследования невозможно было бы, во-первых, перейти на новый уровень познания, когда объектами изучения биологов стали живые структуры сначала на клеточном, а затем на молекулярном уровне.

Во-вторых, обобщение и систематизация знаний об отдельных видах и родах растений и животных требовали перехода от искусственных классификаций к естественным, где основой должен стать принцип генезиса, происхождения новых видов, а следовательно, разработка теории эволюции. Такие попытки создания естественной классификации, опирающиеся на весьма несовершенные еще принципы эволюции, предпринимались Ж.Б. Ламарком (1744–1829) и Э.Ж. Сент-Илером (1772–1844). Не подлежит сомнению, что они послужили важной вехой на пути создания первой научной теории эволюции видов растений и животных Ч. Дарвиным.

В-третьих, именно описательная, эмпирическая биология послужила тем фундаментом, на основе которого сформировался целостный взгляд на многообразный, но в то же время единый мир живых систем. Можно даже сказать, что первые представления о системах и уровнях их организации были заимствованы из опыта изучения живой природы, и даже сейчас мы часто обращаемся именно к живым системам. Ведь прежде чем

объяснить функционирование отдельных частей или элементов живых организмов, мы должны понять жизнедеятельность единого, целостного организма, а такое понимание первоначально достигается именно на описательном, эмпирическом уровне. Дальнейший теоретический шаг в понимании неизбежно связан с анализом непосредственно данной живой системы, ее расчленением на отдельные подсистемы и элементы, изучением структуры системы, выявлением различных структурных уровней организации живых систем.

Биологическая эволюция представляет собой необходимые предпосылки для возникновения общества, не говоря уже о том, что многие наши интуитивные представления об эволюции вообще заимствованы из существовавших в разное время биологических знаний. Поэтому нам особенно важно познакомиться с ними, во-первых, для того, чтобы выявить в дальнейшем специфику социальных процессов, а, во-вторых, показать ошибочность *редукционистских* и *социал-дарвинистских* взглядов на общество.

Собственно биологической эволюции предшествовала длительная *предбиотическая эволюция,* связанная с переходом от неорганической материи к органической, а затем к элементарным формам жизни. Началом предбиотической эволюции было постепенное возникновение органических молекул из неорганических. Предполагают, что по мере охлаждения Земли появились все условия для протекания этого процесса. Быть может, недоставало лишь высокой температуры для химического синтеза, но такую температуру могло вызвать воздействие ультрафиолетовых лучей или электрических разрядов. Такая возможность действительно была доказана экспериментально, а поэтому сама гипотеза представляется достаточно обоснованной. Но ранее существовавшие гипотезы, защищая автономность элементарной системы жизни, слишком изолировались от взаимодействия с окружающей средой. Даже гипотеза А.И. Опарина (1894–1980), хотя и постулировала процесс возникновения биополимеров из мономеров, все же недостаточно подчеркивала роль среды в дальнейшей эволюции жизни.

Парадигма самоорганизации может способствовать лучшему пониманию процессов происхождения жизни и ее дальнейшей эволюции. Действительно, с ее помощью можно более адекватно объяснить, каким образом из неорганических молекул возник-

ли органические, а из последних – первые живые клетки. Согласно гипотезе немецкого физикохимика М. Эйгена (р. 1927), процесс возникновения живых клеток тесно связан с взаимодействием нуклеотидов, являющихся носителями информации, и протеинов (полипептидов), служащих катализаторами химических реакций. В процессе взаимодействия нуклеотиды под влиянием протеинов воспроизводят себя и в свою очередь передают информацию следующему за ним протеину, так что в результате возникает замкнутая автокаталитическая цепь, которую М. Эйген называет *гиперциклом.* В ходе дальнейшей эволюции из них возникают первые живые клетки, сначала без ядер, называемые прокариотами, а затем с ядрами – эукариоты.

На предбиотической стадии эволюции до возникновения первых клеток, как показывают современные исследования, существовали материальные системы, обладавшие способностью к самовоспроизведению, метаболизму и развитию через мутации и конкуренцию с другими системами для отбора. Эти фундаментальные свойства, характеризующие жизнь, возникли из самоорганизации структур.

В ходе эволюции принцип автокатализа, или самоускорения химических реакций, дополняется принципом самовоспроизведения целого циклически организованного процесса в гиперциклах, предложенных М. Эйгеном. Воспроизведение компонентов гиперциклов, как и их объединение в новые гиперциклы, сопровождается быстрорастущим метаболизмом, связанным с синтезом богатых энергией молекул и выведением, как отбросов, молекул, бедных энергией. Примечательно, что вирусы, лишенные способности к метаболизму, внедряются в клеточные организмы и начинают пользоваться их метаболической структурой. Особо следует отметить, что в ходе самоорганизации постоянно возникают *мутации,* а с ними неизбежно связан отбор.

Парадигма самоорганизации позволяет установить связь между неживым и живым в ходе эволюции, так что возникновение жизни представляется отнюдь не чисто случайной и крайне маловероятной комбинацией условий и предпосылок для ее появления, как заявляли некоторые авторитетные биологи. Если самоорганизация при наличии соответствующих условий может возникнуть в самом фундаменте здания материи, то вполне обоснованно предположить, что на более высоких уровнях организации она может закономерно привести к возникновению жиз-

ни во Вселенной. Нельзя также не отметить, что жизнь сама готовит условия для своей дальнейшей эволюции. Предполагают, что первыми стали осваивать Землю растения, которые появились примерно 500 миллионов лет назад. Такое предположение представляется достаточно обоснованным, так как именно растения способны к фотосинтезу и, следовательно, в состоянии накапливать энергию и отдавать свободный кислород в атмосферу. Примерно через 50 миллионов лет после растений появились первые животные – гетеротрофы, которые стали использовать растения в качестве пищи. В результате дальнейшей эволюции из этих основных царств живых систем возникло огромное разнообразие форм и видов растений и животных, которые, постепенно приспосабливаясь к окружающей среде, усложняли свою структуру и функции и влияли также на свою среду, главным образом через те экосистемы, в которые они входили.

Молекулярно-генетический уровень

Представление о структурных уровнях организации живых систем сформировалось под влиянием клеточной теории строения живых тел. В середине прошлого века клетка рассматривалась как последняя единица живой материи, наподобие атома неорганических тел. Из клеток, благодаря принципу упорядоченности, мыслились построенными все живые системы различного уровня организованности. Такие идеи высказывал один из создателей клеточной теории М. Шлейден (1804–1881). Другой выдающийся биолог Э. Геккель (1834–1919) пошел дальше и выдвинул гипотезу, согласно которой протоплазма клетки также обладает определенной структурой и состоит из субмикроскопических частей.

Таким образом, в живой системе можно выделить новый структурный уровень организации. Эти идеи, далеко опережающие научные знания своей эпохи, встречали явное сопротивление, с одной стороны, последователей редукционизма, стремившихся свести процессы жизнедеятельности к совокупности определенных химических реакций, с другой – защитников витализма, которые пытались объяснить специфику живых организмов наличием в них особой «жизненной силы». Идеи редукционистов находили поддержку со стороны представителей механистического и «вульгарного» материализма, первые из которых

пытались объяснить закономерности живой природы с помощью простейших механических и физических понятий и принципов, вторые же стремились редуцировать, свести эти законы к закономерностям химических реакций, происходящих в организме. Более того, некоторые представители «вульгарных» материалистов даже утверждали, что мозг порождает мысль подобно тому, как печень выделяет желчь.

Несмотря на эти философские дискуссии между механицистами и виталистами, ученые-экспериментаторы пытались конкретно выяснить, от каких именно структур зависят специфические свойства живых организмов, поэтому продолжали исследовать их на уровне не только клетки, но также и клеточных структур. В первую очередь исследовали структуру белков и выяснили, что они построены из 20 аминокислот, которые соединены длинными полипептидными связями, или цепями. Хотя в состав белков человеческого организма входят все 20 аминокислот, но совершенно обязательны для него только 9 из них. Остальные, по-видимому, вырабатываются самим организмом. Характерная особенность аминокислот, содержащихся не только в человеческом организме, но и в других живых системах, состоит в том, что все они являются левовращающими плоскость поляризации изомерами, хотя в принципе существуют аминокислоты и правого вращения. Обе формы таких изомеров почти одинаковы между собой и различаются только пространственной конфигурацией, и поэтому каждая из молекул аминокислот является зеркальным отображением другой. Впервые это явление открыл выдающийся французский ученый Л. Пастер (1822–1895), исследуя строение веществ биологического происхождения. Он обнаружил, что такие вещества способны отклонять поляризованный луч и поэтому являются оптически активными, вследствие чего они были впоследствии названы оптическими изомерами. В отличие от этого, у молекул неорганических веществ эта способность отсутствует, и они построены симметрично. На основе своих опытов Л. Пастер высказал мысль, что важнейшим свойством всей живой материи является их молекулярная асимметричность, подобная асимметричности левой и правой рук. Опираясь на эту аналогию, в современной науке это свойство называют молекулярной хиральностью (от греч. cheir – рука). Интересно заметить, что если бы человек вдруг превратился в свое зеркальное отображение, то его организм функционировал бы нормально до тех пор, пока он не стал бы употреблять пищу

растительного или животного происхождения, которую он не смог бы переварить.

На вопрос, почему именно живая природа выбрала белковые молекулы, построенные из аминокислот левого вращения, до сих пор нет убедительного ответа. Сам Л. Пастер считал, что поскольку живое возникает из неживого, то необходимым предварительным условием для этого процесса должно стать превращение симметричных неорганических молекул в асимметричные. По его предположению, такое превращение могло быть вызвано различными космическими факторами, в частности, геомагнитными колебаниями, вращением Земли, электрическими разрядами и т.п. Попытки экспериментально проверить эту гипотезу не увенчались успехом. Поэтому высказывались предположения и о чисто случайном характере возникновения первых живых молекулярных систем, образованных из аминокислот левого вращения. В дальнейшем эта особенность могла быть передана по наследству и закрепиться как неотъемлемые свойства живого организма.

Наряду с изучением структуры белка в последние полвека особенно интенсивно изучались механизмы наследственности и воспроизводства живых систем. Особенно остро этот вопрос встал перед биологами в связи с определением границы между живым и неживым. Большие споры возникли вокруг природы вирусов, которые обладают способностью к самовоспроизводству, но не в состоянии осуществлять процессы, которые мы обычно приписываем живым системам: обмен веществ, реакцию на внешние раздражители, рост и т.п. Очевидно, если считать определяющим свойством живого организма обмен веществ, то вирусы нельзя назвать живыми организмами, но если таким свойством считать воспроизводимость, то их следует отнести к живым телам. Так естественно возникает вопрос: какие свойства или признаки характерны для живых систем? На этот вопрос ученые отвечали по-разному в различные исторические этапы развития естествознания в зависимости от достигнутого уровня исследований. Пока не существовало развитых методов биологического исследования и сколь-нибудь ясных теоретических концепций, сущность живого сводили к наличию некоей таинственной «жизненной силы», которая отличает живое от неживого. Однако такое определение оставалось чисто отрицательным, так как не раскрывало ни подлинной причины, ни механизма отличия живого от неживого, а все сводило к иррациональной,

непознаваемой и потому таинственной способности живых организмов. На этом основании сторонников такого взгляда называли «виталистами». Если первые виталисты ограничивались простой констатацией различия между живым и неживым, то их последователи использовали недостатки и ограниченность физико-химических представлений о жизни для подкрепления своей позиции. Наиболее интересной в этом отношении представляется попытка немецкого биолога и философа Х. Дриша (1867–1941), который возродил существовавшее еще у Аристотеля понятие энтелехии для объяснения целесообразности живых систем. Основываясь на своих опытах по регенерации морских ежей, которые восстанавливают удаленные у них части тел, Дриш утверждал, что все живые организмы обладают особой способностью к целесообразным действиям по сохранению и поддержанию своей организации и жизнедеятельности, которую он назвал энтелехией. По сути дела энтелехия ничем не отличается от отличается от «жизненной силы» виталистов, хотя в духе своего времени (XX в.) Х. Дриш вводит градации и различные ее степени для разных живых организмов. На упреки, что энтелехию невозможно установить никакими эмпирическими методами, он отвечал, что магнитную силу также нельзя увидеть непосредственно. На этом примере можно убедиться, что современные виталисты используют понятия о ненаблюдаемых объектах (магнетизм, электричество и т.д.) для защиты своих взглядов. Несмотря на критику виталистов, биологи-экспериментаторы продолжали свою трудную и кропотливую работу по анализу структуры и функций живых систем. Как изменились наши представления о живых системах в связи с переходом на новый, молекулярный уровень исследования?

Долгое время в связи с изучением синтеза неорганических веществ внимание ученых было сосредоточено на исследовании той части клеточной структуры, которая образована из белков. Многим казалось, что именно белки составляют фундаментальную основу жизни, и поэтому пытались свести свойства живых систем к свойствам и структуре белков. По-видимому, именно опираясь на это, Ф. Энгельс (1820–1895) выдвинул свое известное определение жизни как способа существования белковых тел, которое продолжали некритически повторять в нашей литературе, несмотря на глубокие исследования, выяснившие, что ни сам белок, ни его составные элементы не представляют ничего уникального в химическом отношении. В связи с этим дальней-

шие исследования были направлены на изучение механизмов воспроизводства и наследственности в надежде обнаружить в них то специфическое, что отличает живое от неживого. Наиболее важным открытием на этом пути было выделение из состава клетки богатого фосфором вещества, обладающего свойствами кислоты и названного впоследствии нуклеиновой кислотой. В дальнейшем удалось выявить углеводный компонент этих кислот, в одном из которых оказалась D-дезоксирибоза, а в другом – D-рибоза. Соответственно этому, первый тип кислот стали называть дезоксирибонуклеиновыми кислотами (сокращенно – ДНК), а второй тип – рибонуклеиновыми (или кратко – РНК) кислотами. Потребовалось, однако, почти сто лет, прежде чем была расшифрована роль нуклеиновых кислот в хранении и передаче наследственности, участии в синтезе белка и обмене веществ.

Не вдаваясь в детали, кратко рассмотрим эти важнейшие для биологии и естествознания вопросы. Роль ДНК была выяснена после того, как в 1944 г. американским микробиологам удалось доказать, что выделенная из пневмококков свободная ДНК обладает свойством передавать генетическую информацию. До этого существовали либо косвенные, либо не совсем надежные свидетельства этого факта. В 1953 г. Д. Уотсоном и Ф. Криком была предложена и экспериментально подтверждена гипотеза о строении ДНК как носителя информации. В 1960-е гг. французскими учеными Ф. Какобом (р. 1920) и Ж. Моно (1910–1976) была решена одна из важнейших проблем генной активности, раскрывающая фундаментальную особенность функционирования живой природы на молекулярном уровне. Они доказали, что по своей активности все гены разделяются на «регуляторные», кодирующие структуру регуляторного белка, и «структурные гены», кодирующие синтез метаболитов, в том числе ферментов. Дальнейшими исследованиями была установлена непосредственная зависимость синтеза белков (ферментов) от состояния генов (ДНК). Оказалось, что если воздействовать на генетический аппарат микроорганизмов определенными физическими факторами (ультрафиолетовые, рентгеновские и другие лучи), то они перестают синтезировать необходимые им метаболиты, в частности, белки. Благодаря этим исследованиям было показано, что основная функция генов состоит в кодировании синтеза белков. В связи с этим возник вопрос: каким образом осуществляется передача информации от ДНК к морфологическим структурам?

Согласно упомянутой выше модели Уотсона и Крика, наследственную информацию в молекуле ДНК несет последовательность четырех оснований: два пуриновых и два пиримидиновых. Между тем в белках содержится 20 аминокислот, и поэтому становится необходимым объяснить, как четырехбуквенная матрица может быть переведена в 20-буквенную запись аминокислот белков. Первое гипотетическое объяснение механизма такого перевода дал Г. Гамов, предположив, что для кодирования одной аминокислоты требуется сочетание из трех нуклеотидов ДНК. Спустя семь лет его гипотеза была подтверждена экспериментально, и тем самым был раскрыт механизм считки генетической информации.

Переход на молекулярный уровень исследования во многом изменил представления о механизме изменчивости. Согласно доминирующей точке зрения, основным источником изменений и последующего отбора являются мутации, возникающие на молекулярно-генетическом уровне. Однако, кроме переноса свойств от одного организма к другому, существуют и другие механизмы изменчивости, важнейшим из которых являются «генетические рекомбинации». В одних случаях, называемых «классическими», они не приводят к увеличению генетической информации, что наблюдается главным образом у высших организмов. В других, «неклассических» случаях рекомбинация сопровождается увеличением информации генома клетки. При этом фрагменты хромосомы клетки-донора могут включаться в хромосому клетки-реципиента, а могут оставаться в латентном, скрытом, состоянии, но под влиянием внешних факторов они становятся активными и потому могут соединиться с клеткой-реципиентом. Дальнейшее исследование генетических рекомбинаций привело к открытию целого вида переносимых или «мигрирующих» генетических элементов.

Дальнейшие исследования «неклассических» форм генетических рекомбинаций привели к открытию целого ряда переносимых, или «мигрирующих» генетических элементов. Важнейшими из них являются автономные генетические элементы, названные плазмидами, которые служат активными переносчиками генетической информации. На основе этих результатов некоторыми учеными высказано предположение, что «мигрирующие» генетические элементы вызывают более существенные изменения в геномах клеток, чем мутации. Все это не могло не поставить вопроса о том, работает ли естественный отбор на молеку-

лярно-генетическом уровне. Появление теории «нейтральных мутаций» еще больше обострило ситуацию, поскольку она доказывает, что изменения в функциях аппарата, синтезирующего белок, являются результатом случайных мутаций, не оказывающих влияния на эволюцию. Хотя такой вывод и не является общепризнанным, но хорошо известно, что действие естественного отбора происходит на уровне фенотипа, т.е. живого, целостного организма, а это связано уже с более высоким уровнем исследования.

Онтогенетический уровень живых систем

В настоящее время считают, что онтогенетический уровень охватывает все отдельные одноклеточные и многоклеточные живые организмы, а раньше чаще всего его рассматривали как уровень, включающий только многоклеточные организмы. Сам термин «онтогенез» ввел в науку известный немецкий биолог Э. Геккель, автор знаменитого биогенетического закона, согласно которому онтогенез в краткой форме повторяет филогенез. Это означает, что отдельный организм в своем индивидуальном развитии в сокращенной форме повторяет историю рода.

Поскольку минимальной самостоятельной живой системой можно считать клетку, постольку изучение онтогенетического уровня следует начать именно с клетки. В зависимости от характера структуры и функционирования все клетки можно разделить на два класса:

– *прокариоты* – клетки, лишенные ядер;

– *эукариоты,* появившиеся позднее клетки, содержащие ядра.

При более глубоком исследовании оказалось, что эти два класса клеток обладают существенными различиями в структуре и функционировании генетического аппарата, строении клеточных стенок и мембранных систем, характере механизмов синтеза белков и т.п.

Соответственно тому, из каких клеток построены живые системы, их можно разделить на две обширные группы или два живых царства. К первому принадлежат многочисленные виды таких одноклеточных организмов, как бактерии, сине-зеленые во-

доросли, грибы и др. Все остальные одноклеточные, а тем более находилась в ином состоянии, нежели многоклеточные организмы, начиная от низших и кончая высшими, построены из позднее возникших эукариотных клеток. Эту классификацию пришлось, однако, пересмотреть после открытия *архебактерий,* особенность которых состоит в том, что их клетки в чем-то сходны, с одной стороны, с прокариотами, а с другой – с эукариотами. На этом основании в настоящее время различают три типа онтогенетического уровня организации живых систем, которые представляют собой три линии развития живого мира: 1) прокариоты, или эубактерии; 2) эукариоты и 3) архебактерии.

По-видимому, эти три линии развития исходят из единой первичной минимальной живой системы, которую можно называть *протоклеткой.* Предполагают, что она обладала всеми основными свойствами, характерными для живых организмов. К ним относят прежде всего способность к обмену с окружающей средой – признак, присущий всем открытым системам. С нею непосредственно связана способность протоклетки к метаболизму, т.е. осуществлению биохимических реакций, сопровождающихся усвоением необходимых для роста клетки веществ и удалением использованных продуктов реакций. Дальнейшее функционирование и развитие клетки предполагает также наличие у нее способности к делению и почкованию. К этим признакам многие исследователи добавляют дополнительные свойства, но все ученые признают, что протоклетка отнюдь не была какой-то бесструктурной массой, а представляла собой достаточно организованную целостность, которую можно охарактеризовать как первичную живую тотему. Предполагают также, что протоклетка по важнейшим своим структурно-функциональным свойствам не была подобна современным одноклеточным прокариотам, а обладала некоторыми признаками, аналогичными свойствам эукариотных клеток.

По вопросу происхождения эукариотных клеток существуют две основные гипотезы. Сторонники аутогенной гипотезы считают, что такие клетки могли возникнуть путем дифференциации и усложнения слабо структурированных клеточных образований, подобных прокариотам. Защитники другой, симбиотической, гипотезы полагают, что эукариотные клетки образовались путем симбиоза нескольких прокариотных клеток, геномы которых внедрились в клетку-хозяина, причем, по одной версии, они способствовали постепенному превращению последней в эукариотную

клетку (рис.4.1), а по другой – она уже обладала некоторыми свойствами эукариотов.

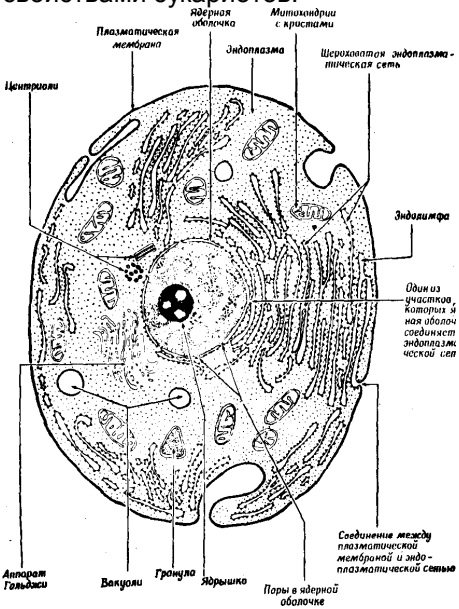


Рис.4.1. Современная схема строения эукариотической живой клетки. Видно расположение различных клеточных компонентов

Структурный подход к анализу первичных живых систем на онтогенетическом уровне, о котором шла речь выше, нуждается в дополнительном освещении функциональных особенностей их жизнедеятельности и обмена веществ. Среди них особого внимания заслуживает исследование трофических, или пищевых, потребностей организмов. Для этого необходимо проследить ваимоотношения организмов с окружающей средой в рамках соответствующей экологической системы. Именно поэтому изучение структуры и основных типов питания уже давно привлекало внимание ученых. Они выделили прежде всего два главных типа питания.

К автотрофному типу относились организмы, которые не нуждались в органической пище и могли жить либо за счет ассимиляции углекислоты (бактерии), либо фотосинтеза (растения). Ко второму, гетеротрофному,

типу принадлежали все организмы, которые не могли жить без органической пищи.

По вопросу о том, какой тип питания возник в начале становления живых систем, мнения расходятся. Одни ученые не без основания полагают, что сначала появился автотрофный тип, поскольку сложные органические вещества, необходимые для гетеротрофного питания, могли образоваться лишь после того, как автотрофные организмы создали для этого необходимые условия. Другие исследователи считают, что гетеротрофное питание появилось раньше автотрофного. Такого допущения, в частности, придерживается в своей гипотезе происхождения жизни А.И. Опарин, полагая, что уже первичный «бульон», в котором зародилась жизнь, содержал органические соединения как питательную среду для дальнейшего развития.

Первоначальная простая классификация основных типов питания и разделения организмов на автотрофов и гипертрофов в дальнейшем подверглась изменениям и уточнениям, в которых выявлялись такие важные факторы, как способность организмов синтезировать необходимые вещества для роста (витамины, гормоны и специфические ферменты), обеспечивать себя энергией, источниками получения углерода, азота и водорода; зависимость от экологической среды и т.п. Таким образом, сложный и дифференцированный характер трофических потребностей организмов свидетельствует о необходимости целостного, системного подхода к изучению живых систем и на онтогенетическом уровне. Такая целостность, взаимосвязь и взаимодействие выступают в общей форме функциональной системности, которая находит выражение в согласованном функционировании различных компонентов одноклеточных и многоклеточных организмов. При этом отдельные компоненты содействуют и способствуют согласованному функционированию других, обеспечивая тем самым единство и целостность в осуществлении всех процессов жизнедеятельности всего организма. Подобная функциональная системность в специфических формах выступает и на других уровнях организации живых организмов.

Уровни организации живых систем

Онтогенетический уровень организации, как мы видели, относится к отдельным живым организмам – одноклеточным и

многоклеточным. Его называют также организменным уровнем, поскольку при этом речь идет о структуре и функциях отдельного организма без учета его связей и взаимодействий с другими организмами. Поскольку минимальной живой системой служит клетка, постольку на этом уровне уделяется такое большое внимание анализу структуры и функционирования различных клеточных образований.

Популяционный уровень начинается с изучения взаимосвязи и взаимодействия между совокупностями особей одного вида, которые имеют единый генофонд и занимают единую территорию. Такие совокупности, или, скорее, системы живых организмов составляют определенную популяцию. Очевидно, что популяционный уровень выходит за рамки отдельного организма, и поэтому его называют надорганизменным уровнем организации.

Приведенное общее определение популяции дает возможность отличать организменный уровень живого от надорганизменного. Сам термин «популяция» был введен одним из основателей генетики – Вильгельмом Иогансеном (1857–1927), который с его помощью отличал генетически неоднородную совокупность организмов от однородной, которую он называл «чистой линией».

В дальнейшем этот термин и обозначаемое им понятие приобрели более глубокий смысл. Многие современные ученые характеризуют популяцию не столько как простую совокупность отдельных организмов, сколько как целостную их систему, в которой они непрерывно взаимодействуют друг с другом и с окружающей средой. Благодаря этому они оказываются способными к трансформациям, изменению своего ареала и, самое главное, к развитию.

Популяции представляют собой первый надорганизменный уровень организации живых существ, который, хотя и тесно связан с их онтогенетическим и молекулярными уровнями, но качественно отличается от них по характеру взаимодействия составляющих элементов, ибо в этом взаимодействии они выступают как целостные общности организмов. По современным представлениям, именно популяции служат элементарными единицами эволюции. Второй надорганизменный уровень организации живого составляют различные системы популяций, которые называют **биоценозами**.

Они являются более обширными объединениями живых существ и в значительно большей мере зависят от небиологических, или абиотических, факторов развития.

Третий надорганизменный уровень организации содержит в качестве элементов разные биоценозы и в еще большей степени характеризуется зависимостью от многочисленных земных и абиотических условий своего существования (географических, климатических, гидрологических, атмосферных и т.п.). Для его обозначения академик В.Н. Сукачев (1880–1967) ввел термин *биогеоценоз.*

Четвертый надорганизменный уровень организации возникает из объединения самых разнообразных биогеоценозов и теперь обычно называется **биосферой.**

Таким образом, в функционировании и развитии живой природы особенно наглядно и убедительно выступают ее целостность и системность, которые проявляются в существовании различных иерархических уровней ее организации. При этом каждый новый уровень характеризуется особыми свойствами и закономерностями, не сводимыми к закономерностям прежнего, низшего уровня.

Поскольку основу надорганизменных уровней организации живого составляют популяции, целесообразно несколько подробнее остановиться на их характеристике.

Изучением популяций и биоценозов занимается интенсивно развивающаяся в последние годы отрасль биологической науки, называемая *популяционной биологией.* Одна из основных проблем, которую она призвана решить, заключается в установлении пространственной структуры и объемов популяций. Определить границу между популяциями чрезвычайно трудно, так как в силу подвижности компонентов популяции, т.е. составляющих ее организмов, происходит непрерывное перемешивание ее населения. Другая трудность – в наличии внутри популяций различных группировок и в существовании популяций разных рангов.

В рамках популяционной биологии исследуются также весьма важные проблемы метаболического взаимодействия между популяциями и биоценозами, которые относятся прежде всего к изучению их *трофических,* или пищевых связей. Именно на этой основе происходит разграничение популяций и биоценозов. Оно состоит в том, что популяции представляют собой незамкнутые, открытые метаболические системы, которые могут существовать

и развиваться только при взаимодействии с другими популяциями. В отличие от них биоценозы – относительно замкнутые метаболические системы, в которых обмен и круговорот веществ могут осуществляться между входящими в биоценоз популяциями. Однако эта замкнутость имеет ограниченный и относительный характер хотя бы потому, что разные биоценозы взаимодействуют между собой. Для характеристики трофического взаимодействия популяций и биоценозов существенное значение имеет общее правило, согласно которому, чем длиннее и сложнее пищевые связи между организмами и популяциями, тем более жизнеспособной и устойчивой является живая система любого (надорганизменного) уровня. Отсюда становится ясным, что с биологической точки зрения на таком уровне решающее значение приобретает *трофический* характер взаимодействия между составляющими живую систему элементами. Популяции, как отмечалось выше, являются элементарными единицами микроэволюции и составляют основу надорганизменных уровней организации живых организмов, поэтому необходимо рассмотреть теории, описывающие возникновение и развитие живых организмов.

Происхождение жизни

Вопрос о происхождении жизни – один из самых трудных в современном естествознании. В первую очередь потому, что мы сегодня не можем воспроизвести процессы возникновения жизни с такой же точностью, как это было миллиарды лет назад. Ведь даже наиболее тщательно поставленный опыт будет лишь моделью, приближением, безусловно, лишенным ряда факторов, сопровождавших появление живого на земле. И тем не менее наука успешно решает вопрос о происхождении живого, проводит многочисленные исследования, постоянно расширяет наши представления о зарождении жизни. Это вполне понятно – проблема жизни лежит в фундаменте всех биологических наук и, в значительной мере, всего естествознания.

Сложность и малоизученность проблемы зарождения жизни на Земле долгое время служили питательной почвой для всевозможных религиозных легенд и мифов. Как известно, еще в далекой древности религия предлагала свои варианты возникновения жизни – сотворение живого «всевышним творцом», «бо-

гом-создателем». Однако развитие науки, исследование неизвестных ранее природных явлений, открытие важных законов природы постепенно подтачивали религиозное толкование и объяснение мира. И хотя сегодня любые попытки примирить религиозные утверждения с научными данными выглядят абсурдными, богословы прилагают немало усилий, чтобы «согласовать» научные теории с идеей божественного творения.

Материалистические теории возникновения жизни располагают сейчас многими прямыми и косвенными научными доказательствами своей правоты. С помощью совершеннейших приборов и методов моделируются и изучаются отдельные этапы возникновения живого органического вещества. И можно уверенно утверждать: недалеко время, когда в лабораториях ученых появятся первые крохотные живые клетки. Тем самым будет окончательно доказан естественный характер скачка от неживого к живому.

Более 50 лет вопрос о происхождении жизни разрабатывается крупнейшими учеными, начиная с А.И. Опарина, Б.С. Холдейна. Крупный вклад в это решение внесли Дж. Оро, Г. Меллер, Дж. Бернал, В. Г. Фесенков, Понаперума и другие.

Рассматривая вопрос о происхождении жизни, нельзя оставлять в стороне космические процессы, приведшие к образованию самой Земли и других планет Солнечной системы. История жизни и история Земли неотделимы друг от друга. Именно в этих и последующих процессах развития нашей планеты закладывались условия будущего существования жизни – диапазоны температур, влажности, давлений, уровни радиации и т.п.

Как известно из предыдущих бесед, в настоящее время общепринятой гипотезой о происхождении Земли и всей Солнечной системы является предположение о том, что наша Земля и все планеты сконденсировались из космической пыли, располагавшейся в окрестностях Солнца. Скорее всего, частицы пыли состояли из железа с примесью никеля либо из силикатов (веществ, в состав которых входит широко распространенный на Земле кремний), например, силикатов магния, и каждая частица была окружена льдом. Конечно, кроме пыли везде присутствовал газ. И газ, и частицы пыли пронизывались солнечной радиацией.

При этом весьма вероятно, что на внешних участках Солнечной системы *газы* могли конденсироваться, образуя различные летучие *органические соединения,* в которых присутствует

основной элемент всех живых организмов – *углерод.* Постепенно Солнце разогревало их, газы снова испарялись, но некоторая часть их под действием излучений превращалась в менее летучие *углеводороды* (соединения углерода с водородом) и *соединения азота.*

Возможно, что именно пылевые частицы, окруженные оболочками из органических соединений, объединяясь, образовали сначала астероиды, а затем планеты. Известно, например, что гиганты Солнечной системы – Юпитер, Сатурн, Уран – в основном состоят из метана, водорода, аммиака и льда – веществ, служащих основой всех сложнейших органических соединений.

С другой стороны, общая поверхность пылинок была очень велика. А это значит, что на ней могли образоваться различные соединения углерода и азота – прямых предшественников жизни. Данное предположение доказывается тем, что ряд органических соединений найден в метеоритах, например, *аденин* – биологически очень важное азотистое основание. Он был также искусственно получен в лаборатории при условиях, которые имитировали первичную атмосферу Земли. А, скажем, органические соединения, играющие большую роль в обмене веществ живых организмов, – щавелевую, муравьиную и янтарную кислоты удалось искусственно получить при облучении водных растворов углекислоты.

Первичная атмосфера Земли, как и других планет, содержала, очевидно, *метан, аммиак, водяной пар* и *водород.* Воздействуя в лаборатории на смесь этих газов электрическими разрядами, имитирующими молнию, и ультрафиолетовым излучением, ученые получили сложные органические вещества, входящие в состав живых белков, – глицин, аланин и другие.

Таким образом, сейчас не приходится сомневаться в том, что под воздействием электрических разрядов, световой и ультрафиолетовой радиации еще до образования Земли или на самой первой стадии ее существования из *неорганических соединений* мог возникнуть ряд довольно сложных *органических веществ.* Образовавшиеся органические вещества – это уже первый шаг на пути к жизни.

Какие же элементы являются основными слагаемыми живого, его «кирпичиками»? Это в первую очередь *углерод, кислород, азот* и *водород.* В живой клетке, например, по весу содержится около 70% кислорода, 17% углерода, 10% водорода, 3% азота,

затем идут фосфор, калий, хлор, сера, кальций, натрий, магний, железо. Их количество в клетке не превышает десятых долей процента. Далее следуют медь, цинк, йод, фтор и другие элементы, присутствующие в тысячных и десятитысячных долях процента.

Особая роль в живых организмах принадлежит *углероду.* Говорят, что жизнь на нашей планете «углеродная», т.е. в основе всех органических соединений и веществ организмов лежит углерод.

Могли ли быть соединения, составляющие основу жизни, построены на каком-либо другом элементе, а не на углероде? Подумаем, на каком. Металлы для этой цели вряд ли подойдут: они не могут сами образовывать студневидные, насыщенные водой подвижные и разнообразные структуры. Соединяясь с кислородом, металлы дают, как правило, прочные соединения, где процессы воспроизведения невозможны. У металлов и металлических систем весьма велика электропроводность. Поток электронов в них встречает очень малое сопротивление, и для того чтобы регулировать его, разбивать на более мелкие потоки, направлять их по различным структурам, запасать энергию, понадобились бы невообразимые ухищрения. Правда, ионы металлов переменной валентности оказались практически полезными и используются в жизненных циклах для регулируемой передачи электронов.

В числе возможных кандидатов на роль основного элемента жизни мог бы оказаться кремний. Его соединения могут быть студневидными, но число их сравнительно невелико, и они либо весьма нестойки, либо активны только при очень высоких температурах.

Углеродные же соединения обладают целым рядом свойств, делающих их незаменимыми в качестве основных соединений жизни. Прежде всего, число органических соединений, образованных на основе углерода, огромно (несколько десятков миллионов), и они активны при сравнительно небольших температурах. Атомы углерода в молекулах могут образовывать длинные цепи, имеющие вид скрученных спиралей, просто извитых цепочек и т.д. Сравнительно небольшие перестройки молекул углеродных соединений значительно меняют их химическую активность, которая возрастает также при наличии разного рода катализаторов. «Длинная» молекула углеродных соединений в случае необходимости может служить проводником и регулятором

потока электронов. Если же углерод соединяется с такими элементами, как водород, кислород, азот, фосфор, сера, железо, то новообразование обладает замечательными каталитическими, строительными, энергетическими, информационными и многими другими свойствами. Перечисленные и ряд иных качеств углерода делают его единственно достойным кандидатом на роль основного элемента жизни.

Все элементы («кирпичики») живого принадлежат к наиболее устойчивым и распространенным во Вселенной веществам. Они легко соединяются между собой, вступают в реакции и обладают малым атомным весом.

Соединения, образованные такими «кирпичиками», должны легко растворяться в воде. Этим свойством обладают, например, соединения калия, а также натрия, которые составляют необходимый компонент жизни.

Наша планета богата водой. В то же время Земля расположена на таком расстоянии от Солнца, что необходимая для жизни вода находится в жидком, а не в твердом или газообразном состоянии, как на других планетах. Иначе говоря, наша планета – та «золотая середина» в Солнечной системе, которая наиболее подходит для зарождения жизни. Ученые считают, что на Земле имелся и имеется наилучший интервал температур, необходимый для зарождения и существования живого.

Является ли Земля тем единственным космическим телом, на котором возможна жизнь? По-видимому, нет: ведь только в нашей Галактике имеется примерно 150 миллиардов звезд. И вполне вероятно, что в ней существуют космические тела, на которых возможна жизнь.

Итак, первый шаг на пути к возникновению жизни заключался в образовании *органических веществ* из *неорганического космического «сырья»* при определенном уровне температуры, влажности, радиации, давлении и т. д. Этот процесс протекал в соответствии с законами астрофизики и химии. Без всякого вмешательства «надприродных» сил совершалось и дальнейшее усложнение органических веществ. На этой стадии, по-видимому, уже начал действовать *предварительный отбор* тех соединений, которые позднее явились составными частями первых организмов. Другими словами: из множества образовавшихся веществ сохранялись лишь наиболее устойчивые и способ-

ные к дальнейшему усложнению, а весь длительный путь к жизни шел под влиянием конкретных условий окружающей среды.

Для построения любого сложного органического соединения живых организмов нужен весьма небольшой набор слагающих блоков-мономеров (низкомолекулярных соединений). Например, имея всего 29 не очень сложных мономеров, можно описать биохимическое строение любого живого организма. В число их входят 20 *аминокислот,* из которых построены все белки, 5 *азотистых,* т.е. содержащих азот, *оснований* (из них в комбинациях с другими веществами образуются носители наследственности – нуклеиновые кислоты), а также *глюкоза* – важнейший источник энергии, необходимой для жизнедеятельности, *жиры* – структурный материал, идущий на построение в клетке мембран и запасающий энергию. Такое сравнительно небольшое число соединений – результат действия в течение почти миллиарда лет естественного отбора, выделившего их из огромного количества некогда возникших веществ и определившего их пригодность для существования при определенном уровне температуры, влажности, радиации, давлении и т.д. Этот процесс протекал в соответствии с законами астрофизики и химии. Без всякого вмешательства «надприродных» сил совершалось и дальнейшее усложнение органических веществ. На этой стадии, по-видимому, уже начал действовать *предварительный отбор* тех соединений, которые позднее явились составными частями первых организмов. Другими словами: из множества образовавшихся веществ сохранялись лишь наиболее устойчивые и способные к дальнейшему усложнению, а весь длительный путь к жизни шел под влиянием конкретных условий окружающей среды.

Соединения, возникшие на основе углерода, образовали *«первичный бульон»* гидросферы. Существует научная гипотеза, согласно которой содержащие углерод и азот вещества возникали в расплавленных глубинах Земли и выносились на поверхность при вулканической деятельности. Размываясь водой, они могли попасть в океан, где участвовали в образовании «первичного бульона».

Второй важнейший шаг в образовании живых организмов заключался в том, что из множества различных отдельных молекул органических веществ, существовавших в первичном океане Земли, возникли упорядоченные сложные *веществабиополимеры* – белки и нуклеиновые кислоты. Они уже обладали важней-

шим биологическим свойством – вполне воспроизводить аналогичные себе молекулы.

Каким же образом осуществлялось формирование биополимеров? В рассматриваемый период все органические соединения находились в первичном океане Земли. Для того чтобы между соединениями могли произойти реакции, ведущие к образованию сложных биологически важных молекул, концентрация органических соединений должна была быть сравнительно высокой. Такая концентрация веществ могла образоваться в результате осаждения соединений на различных минеральных частицах, например, на частичках глины или гидроокиси железа, образующих ил прогреваемого солнцем мелководья. Кроме того, органические вещества могли образовать на поверхности океана тонкую пленку, которую ветер и волны гнали к берегу. Здесь она собиралась в толстые слои, в результате чего концентрация органических веществ повышалась в тысячи раз.

Возможно также, что концентрация веществ происходила на органических частицах, обособившихся от «первичного бульона» океана. Этот процесс известен в химии: в разбавленных растворах родственные молекулы объединяются друг с другом. Такое объединение молекул помогает им перейти в более устойчивое энергетическое состояние.

Итак, отдельные похожие и сравнительно несложные органические соединения начали объединяться в крупные биологические молекулы. Образовались *ферменты* – белковые вещества-катализаторы, которые способствуют возникновению или распаду молекул. В результате деятельности первичных ферментов возникли одни из важнейших органических соединений – *нуклеиновые кислоты,* сложные полимерные (т.е. состоящие из многих блоков-мономеров) вещества. Мономеры в нуклеиновых кислотах расположены таким образом, что несут определенную информацию, код, заключающийся в том, что каждой аминокислоте, входящей в белок, соответствует определенный набор из трех мономеров, так называемый триплет нуклеиновой кислоты. Таким образом, на основе «планов» нуклеиновых кислот строятся белки и происходит обмен с внешней средой веществом и энергией. Затем возникают и другие сложные органические соединения.

Эта стадия была ключевой, переломной в возникновении жизни на Земле. Молекулы нуклеиновых кислот приобрели свой-

ство самовоспроизведения себе подобных; заключенная в кислотах информация вела к строгой упорядоченности отдельных составляющих их мономеров. Молекулы нуклеиновых кислот стали управлять всем процессом образования белковых веществ.

Таким образом, в первичном океане Земли возникли химические соединения, которые, черпая энергию из внешней среды, могли поддерживать свое существование и воспроизводить себе подобных. Можно считать, что с этого момента на Земле возникла жизнь. Зарождение живого, очевидно, происходило в наиболее благоприятных участках океана.

Что же такое жизнь, какое ее определение будет наиболее полным и точным? Жизнь – это особая форма существования материи, особая форма ее движения. Она невозможна без существования и функционирования белков и нуклеиновых кислот; жизнь – производное водной оболочки Земли, ее гидросферы; она – часть нескончаемого движения Вселенной. Характерные особенности жизни – обмен с внешней средой, воспроизведение себе подобных, постоянное развитие.

Химическая эволюция возникших на Земле органических соединений неизбежно вела к последовательному *усложнению* этих соединений и процессов их образования. В результате приспособления органических соединений к внешней среде оставались лишь те из них, которые могли дать еще более сложные образования. Последовательность объединения простых соединений в сложные вначале была случайной; однако в процессе эволюции отбирались только участки, если можно так сказать, с наиболее удачной упорядоченностью. Постепенно возникли высокомолекулярные соединения с высокой степенью упорядоченности и способностью воспроизводить себе подобных.

Но можно ли говорить, что именно на этом этапе возникла жизнь? Ведь организмов, с их обменом веществ, раздражимостью, способностью приспособления к изменяющимся внешним условиям, к росту и размножению, еще не существовало.

С точки зрения современной науки, да, можно.

Возникновению первых организмов, как мы говорили, предшествовала необходимая биохимическая стадия возникновения жизни. На этой стадии в удобных, например, мелководных, заиленных, участках океана образовались сложные биологические молекулы-биополимеры, о которых мы уже упоминали. Вначале их существование поддерживалось чисто химическими

процессами. А к концу биохимической стадии появились первичные структурные образования – так называемые *мембраны.* Они отграничили смеси органических веществ от внешней среды.

Впоследствии мембраны сыграли главную роль в построении всех *живых клеток.*

Клетки как основные структурные элементы живого стали объектом научного исследования более 300 лет назад. Их впервые обнаружил английский ученый Р. Гук. В XIX в. немецкие биологи Шлейден и Шванн сформулировали *клеточную теорию,* которая лежит в основе современной биологической науки. В нескольких словах ее суть можно определить так: тела всех растений и животных состоят из основных единиц жизни – клеток. Живое содержимое клетки получило название *протоплазмы* (в настоящее время чаще называется *цитоплазмой*). Виды клеток животного и растительного организма приведены на рис. 4.2 и 4.3.

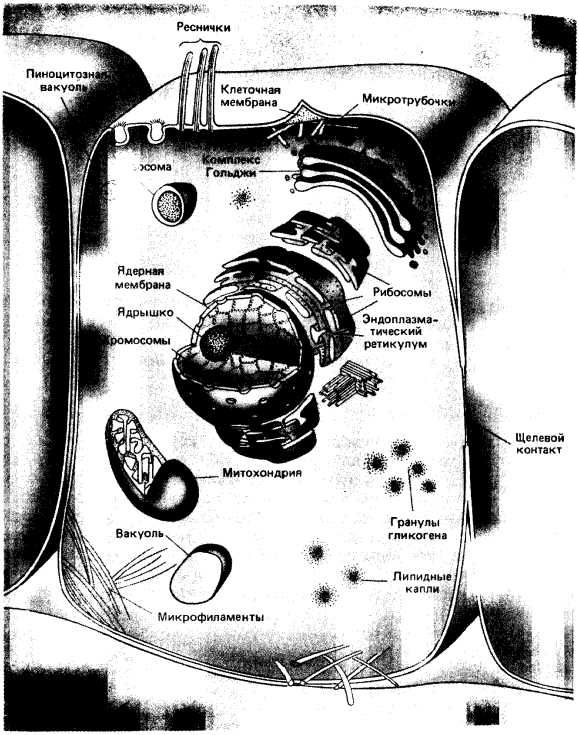


Рис. 4.2. Обобщенная схема клетки животного организма

Ученые считают, что первые организмы на Земле были одноклеточными прокариотами. По своему строению они напоминали, например, существующие ныне бактерии или сине-зеленые водоросли. Для «сборки» одноклеточных организмов «использовались» сложные самовоспроизводящиеся молекулы нуклеиновых кислот, белковые вещества, мембраны.

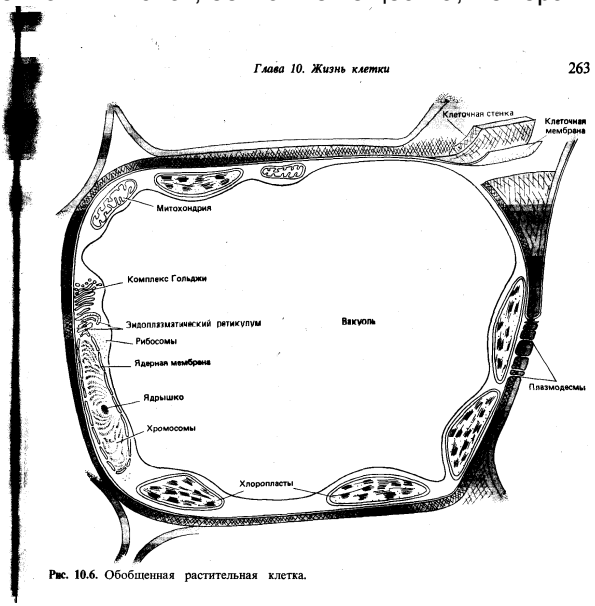


Рис. 10.6. Обобщенная растительная клетка.

Первые клетки – прокариоты (рис.4.1)– представляли собой «живые» молекулы, окруженные мембраной. Постепенно прокариоты усложнялись, присоединяя к себе другие «живые» молекулы или их комплексы.

Итак, каким же требованиям должны отвечать зарождающиеся клетки живого?

Во-первых, соединения жизни, т.е. разнообразные и многочисленные соединения углерода, должны быть активны при сравнительно невысоких температурах поверхности Земли. При этом скорость протекания жизненных процессов должна значи-

тельно меняться при сравнительно небольших изменениях температуры.

В результате многочисленных исследований ученые пришли к выводу, что скорость и последовательность жизненных реакций клеток определяется характером надмолекулярных структур, т.е. закономерностью расположения больших молекул в углеродных соединениях.

Во-вторых, для жизни абсолютно необходим приток энергии извне, из окружающей среды. Энергию клетка получает с пищей. Для жизни важным является, однако, не только получение энергии, но и способность запасать и хранить ее. В противном случае организм мог бы существовать, лишь непрерывно поглощая пищу.

В-третьих, поскольку живой организм неразрывно связан с окружающей средой, он должен реагировать на ее изменения определенными комплексами реакций, ослабляющих или устраняющих нежелательные воздействия внешних условий. Иными словами, клетка должна располагать определенным «запасом прочности», авторегулироваться.

В-четвертых, все живое должно постоянно и с большой точностью воспроизводить себя. Значит, целый ряд внутриклеточных процессов должен обеспечивать размножение клетки. За хранение наследственной информации и ее реализацию в клетке отвечают прежде всего нуклеиновые кислоты: они служат своеобразными матрицами, с которых делается множество копий живого. Благодаря тем данным, которые заключены в структурах нуклеиновых кислот, осуществляется жизненно необходимый синтез белка, самих нуклеиновых кислот и т.п.

В-пятых, так как в каждой клетке ежеминутно протекает множество химических реакций под контролем ферментов-катализаторов, то эти катализаторы должны быть достаточно универсальны и должны воспроизводиться на тех же матрицах, что и другие вещества, состоять из блоков синтезируемых и распространенных в клетке веществ. В своей работе ферменты-катализаторы избирательно ускоряют то одни, то другие реакции, обеспечивая тем самым жизнедеятельность клетки.

С образованием первых клеток был сделан величайший шаг в зарождении жизни на нашей планете. У читателя может возникнуть вполне законный вопрос: а может ли жизнь возникать в наше время? Ученые считают, что возникновение живого принципиально осуществимо и сегодня. Но сможет ли оно существо-

вать и развиваться? Нет, отвечает наука, не сможет: имеющиеся на Земле организмы мгновенно бы уничтожили новообразование.

Предметом длительных споров являлся вопрос о том, возник ли на земле сначала какой-то один вид организма, от которого пошли все остальные, или появилось сразу множество разнообразных? Скорее всего, по данным современных наук, из большого количества высокомолекулярных органических соединений первичного океана более или менее одновременно возникло великое *множество первых комочков живой протоплазмы.* Они гибли в морских прибоях, в горячих водоворотах, высыхали при отливах, замерзали в холодных глубинных слоях океана. Но огонек жизни уже загорелся, и ему суждено было гореть вечно.

Многие из появившихся организмов стали хищниками: они строили вещество своих клеток за счет других организмов. Другие успешно развивались в содружестве с окружающими.

Проходили сотни миллионов, даже миллиарды лет. За это долгое время из первых прокариотов возникли эукариоты. Прокариотам, таким образом, пришлось существенно потесниться, многие их виды, по-видимому, исчезли. У эукариотов в клетке существует уже оформленное ядро с веществами, содержащими код синтеза белка, и ядрышко, находящееся в ядре.

Приблизительно в это же время у эукариотов намечается «выбор» растительного или животного образа жизни. Основное различие этих двух образов жизни заключается в *способе питания* и связано с возникновением такого важного для всего живого на Земле процесса, как *фотосинтез.*

Фотосинтез заключается в создании органического вещества, например сахаров, из углекислоты и воды при использовании энергии солнечного света. Фотосинтез складывается из быстрых, зависящих от света «световых реакций» и более медленных, способных протекать в темноте, «темновых реакций». Такой процесс зеленые растения могут осуществлять благодаря особым свойствам содержащегося в них вещества – *хлорофилла,* зеленого пигмента. Ежегодно растения Земли создают при помощи фотосинтеза около 200 миллиардов тонн органического вещества, причем 90% этого количества вырабатывают водоросли и только 10% – наземные растения.

С возникновением фотосинтеза в атмосферу Земли начал поступать *кислород.* Подсчитано, что благодаря фотосинтезу вся углекислота планеты – и в атмосфере, и растворенная в воде – обновляется примерно за 300 лет, а весь кислород – за 2 тысячи лет. Теперешнее содержание кислорода в атмосфере (21%) было достигнуто около 250 миллионов лет назад в результате интенсивного развития наземных растений.

Итак, мы видим, что в результате фотосинтеза образовалась так называемая *вторичная атмосфера Земли* с высоким содержанием кислорода. Первичная была наполнена ядовитыми газами, в частности, углекислым. В дальнейшем развитие жизни шло по пути совершенствования кислородного обмена, ибо кислород – очень активный газ. Он быстро окисляет многие вещества, а значит, и ускоряет биохимические реакции, происходящие в живых организмах.

Возникшие одноклеточные организмы продолжали совершенствоваться. Некоторые из них, объединяясь, стали жить колониями. Объединение давало возможность успешно осуществлять различные жизненные функции. В колонии как прообразе многоклеточного организма клетки начинают специализироваться: одни реагируют на свет, другие отвечают за процессы размножения.

Первые *многоклеточные организмы* возникли путем *объединения одноклеточных.* Это был следующий великий этап в развитии жизни. Многоклеточные морские организмы развивались и совершенствовались дальше. Одни из них осели на дно и прикрепились к нему (первые водоросли и кораллы). Другие построили себе домик-раковину, которую стали всюду таскать за собой для защиты от врагов. Третьи стали совершенствоваться в плавании, ползании по дну (первые медузы)... Жизнь бурно развивалась и совершенствовалась. Далее начинается ее палеонтологическая летопись, многие каменные страницы которой уже прочтены учеными.

Концепции возникновения жизни

Концепции, касающиеся возникновения Земли, да и всей Вселенной, разнообразны и далеко не достоверны. Согласно коцепции стационарного состояния, Вселенная существовала извечно. Согласно другим гипотезам, Вселенная могла возник-

нуть из сгустка нейтронов в результате Большого взрыва, родилась в одной из черных дыр или же была создана Творцом. Вопреки бытующим представлениям, наука не в состоянии опровергнуть идею о божественном сотворении первозданной Вселенной, так же как теологические взгляды не обязательно отвергают возможность того, что жизнь в процессе своего развития приобрела черты, объяснимые на основе законов природы.

Среди главных концепций возникновения жизни на Земле следует упомянуть следующие:

1) жизнь была создана сверхъестественным существом в определенное время (креационизм);

2) жизнь возникала неоднократно из неживого вещества (самопроизвольное зарождение);

3) жизнь существовала всегда (теория стационарного состояния);

4) жизнь занесена на нашу планету извне (панспермия);

5) жизнь на нашей планете возникла случайно;

6) жизнь возникла в результате процессов, подчиняющихся химическим и физическим законам (биохимическая эволюция).

Креационизм

Согласно этой концепции, жизнь возникла в результате какого-то сверхъестественного события в прошлом; ее придерживаются последователи почти всех наиболее распространенных религиозных учений. В 1650 г. архиепископ Ашер из г. Арма (Ирландия) вычислил, что бог сотворил мир в октябре 4004 г. до н.э. и закончил свой труд 23 октября в 9 часов утра, создав человека. Ашер получил эту дату, сложив возрасты всех людей, упоминающихся в библейской генеалогии, – от Адама до Христа («кто кого родил»). С точки зрения арифметики это разумно, однако при этом получается, что Адам жил в то время, когда, как показывают археологические находки, на Ближнем Востоке существовала хорошо развитая городская (шумерская) цивилизация, которая имела свою письменность, развитое хозяйство, имела разносторонние торговые связи с соседними государствами.

Очень близкие легенды о сотворении мира и живых существ каким-то сверхестественным существом присутствуют в мифах и сказаниях очень многих народов на Земле. Эти мифы и сказания появились значительно раньше, чем Библия. Например, пред-

ставления шумеров о возникновении мира, о появлении человека нашли отражение в Библии. Главными богами шумеров были Ан (небо) и Ки (земля), которые были неразрывно связаны. Ан практически не вмешивался в дела на Земле, передав эти функции богам, родившимся от него. Так, родившийся от этого союза бог воздуха Энлиль разделил небо и землю и практически господствовал над Вселенной. Мифы древнейших народов, религиозные убеждения современных людей указывают на сходство попыток объяснить как появление природы, так и различные природные явления.

Традиционное иудейско-христианское представление о сотворении мира, изложенное в Книге Бытия, 1.1.-26, вызывало и продолжает вызывать споры. Хотя все христиане признают, что Библия – завет господа людям, по вопросу о длине «дня», упоминающегося в Книге Бытия, существуют разногласия. Некоторые считают, что мир и все населяющие его организмы были созданы за шесть дней продолжительностью по 24 часа. Они отвергают любые другие точки зрения и целиком полагаются на вдохновение, созерцание и божественное откровение. Другие христиане не относятся к Библии как к научной книге и считают, что в Книге Бытия изложено в понятной для людей всех времен форме теологическое откровение о сотворении всех живых существ всемогущим творцом. Для них описание сотворения живых существ скорей относится к ответу на вопрос «почему?», а не «каким образом?». Если наука в поисках истины широко использует наблюдение и эксперимент, то богословие постигает истину через божественное откровение и веру.

«Вера же есть осуществление ожидаемого и уверенность в невидимом ... Верою осознаем, что вещи устроены словом Божьим, так что из невидимого произошло видимое» (Послание к евреям, 11, 1-3).

Вера признает вещи, которым нет доказательств в научном смысле слова. Это означает, что логически не может быть противоречия между научным и богословским объяснением сотворения мира, так как эти две сферы мышления взаимно исключают одна другую. Для ученого научная истина всегда содержит элемент гипотезы, предварительности, но для верующего теологическая картина абсолютна.

Процесс божественного сотворения мира мыслится как имевший место лишь единожды и поэтому недоступный для наблюдения; этого достаточно, чтобы вынести всю концепцию бо-

жественного сотворения за рамки научного исследования. Наука занимается только теми явлениями, которые поддаются наблюдению, а поэтому она никогда не будет в состоянии ни доказать, ни отвергнуть эту концепцию.

Самопроизвольное зарождение

Эта концепция была распространена в древних Китае, Вавилоне и Египте в качестве альтернативы креационизму, с которым она сосуществовала. Аристотель (384–322 до н.э.), которого часто провозглашают основателем биологии, придерживался теории спонтанного зарождения. На основе собственных наблюдений он развил эту теорию дальше, связывая все организмы в непрерывный ряд – «лестницу природы» (scala naturae):

«Ибо природа совершает переход от безжизненных объектов к животным с такой плавной последовательностью, поместив между ними существа, которые живут, не будучи при этом животными, что между соседними группами, благодаря их тесной близости, едва можно заметить различия» (Аристотель).

Этим высказыванием Аристотель укрепил более ранние высказывания Эмпедокла об органической эволюции. Согласно теории Аристотеля о спонтанном зарождении, определенные «частицы» вещества содержат некое «активное начало», которое при подходящих условиях может создать живой организм. Аристотель был прав, считая, что это активное начало содержится в оплодотворенном яйце, но ошибочно полагал, что оно присутствует также в солнечном свете, тине и гниющем мясе.

«Таковы факты – живое может возникать в результате не только спаривания животных, но и разложения почвы... Так же обстоит дело и у растений: некоторые развиваются из семян, а другие как бы самозарождаются под действием сил природы, возникая из разлагающейся земли, отбросов или из определенных частей растений» (Аристотель). Эту идею поддерживали такие выдающиеся ученые и мыслители как Парацельс, эмбриолог Гарвей, Н. Коперник, Г. Галилей, Р. Декарт, Гете, Шеллинг и др. Их авторитет во многом определил долгий срок существования теории самозарождения и ее широкое распространение.

С распространением христианства, концепция спонтанного зарождения жизни оказалась не в чести; ее признавали лишь те,

кто верил в колдовство и поклонялся нечистой силе, но эта идея все же продолжала существовать в течение еще многих веков. Ван Гельмонт (1577–1644), весьма знаменитый и удачливый ученый, описал эксперимент, в котором он за три недели якобы создал мышей. Для этого нужны были грязная рубашка, темный шкаф и горсть пшеницы. Активным началом в процессе зарождения мыши Ван Гельмонт считал человеческий пот.

Даже опыты Ф. Реди и Спаллацани не смогли поколебать эту концепцию. В 1688 г. итальянский биолог и врач Франческо Реди, живший во Флоренции, подошел к проблеме возникновения жизни более строго и подверг сомнению теорию спонтанного зарождения. Реди установил, что маленькие белые червячки, появляющиеся на гниющем мясе, – это личинки мух. Проведя ряд экспериментов, он получил данные, подтверждавшие мысль о том, что жизнь может возникнуть только из предшествующей жизни (концепция биогенеза).

«Убежденность была такой тщетной, если бы ее нельзя было подтвердить экспериментом. Поэтому в середине июля я взял четыре больших сосуда с широким горлом, поместил в один из них змею, в другой – немного рыбы, в третий – угрей из Арно, в четвертый – кусок молочной телятины, плотно закрыл их и запечатал. Затем я поместил то же самое в четыре других сосуда, оставив их открытыми... Вскоре мясо и рыба в незапечатанных сосудах зачервивели; можно было видеть, как мухи свободно залетают в сосуды и вылетают из них. Но в запечатанных сосудах я не видел ни одного червяка, хотя прошло много дней, после того как в них была положена дохлая рыба» (Реди).

Эти эксперименты, однако, не привели к отказу от идеи самозарождения, и хотя эта идея несколько отошла на задний план, она продолжала оставаться главной теорией в неклерикальной среде.

В то время как эксперименты Реди, казалось бы, опровергали спонтанное зарождение мух, первые микроскопические исследования Антона ван Левенгука усилили эту теории применительно к микроорганизмам. Сам Левенгук не вступал в споры между сторонниками биогенеза и спонтанного зарождения, однако его наблюдения давали пищу обеим теориям и в конце концов побудили других ученых поставить эксперименты для решения вопроса о возникновении жизни путем спонтанного зарождения.

В 1765 г. Ладзаро Спалланцани провел следующий опыт: подвергнув мясные и овощные отвары кипячению в течение не-

скольких часов, он сразу же их запечатал, после чего снял с огня. Исследовав жидкости через несколько дней, Спалланцани не обнаружил в них никаких признаков жизни. Из этого он сделал вывод, что высокая температура уничтожила все формы живых существ и что без них ничто живое уже не могло возникнуть.

В 1860 г. проблемой происхождения жизни занялся Луи Пастер. К этому времени он уже многое сделал в области микробиологии и сумел разрешить проблемы, угрожавшие шелководству и виноделию. Он показал также, что бактерии вездесущи и что неживые материалы легко могут быть заражены живыми существами, если их не простерилизовать должным образом. В результате ряда экспериментов, в основе которых лежали методы Спалланцани, Пастер доказал справедливость теории биогенеза и окончательно опроверг теорию спонтанного зарождения.

Однако подтверждение теории биогенеза породило другую проблему. Коль скоро для возникновения живого организма необходим другой живой организм, то откуда же взялся самый первый живой организм? Только теория стационарного состояния не требует ответа на этот вопрос, а во всех других теориях подразумевается, что на какой-то стадии истории жизни произошел переход от неживого к живому. Было ли это первичным самозарождением?

Концепция стационарного состояния

Согласно этой концепции, жизнь никогда не возникала, а существовала вечно. Земля всегда способна поддерживать жизнь, а если жизнь и изменялась, то очень мало; виды также существовали всегда**.** Считается, что после Большого взрыва, в процессе которого образовалась наша Вселенная, на ранних этапах ее развития произошло разделение вещества на живое и неживое.

Оценки возраста Земли сильно варьировали – от примерно 6000 лет по расчетам архиепископа Ашера до 50 005 010 560 лет по современным оценкам, основанным на учете скоростей радиоактивного распада. Более совершенные методы датирования дают все более высокие оценки возраста Земли, что позволяет сторонникам концепции стационарного состояния полагать, что Земля существовала всегда. Согласно этой концепции, виды

также никогда не возникали, они существовали всегда, и у каждого вида есть лишь две возможности – либо изменение численности, либо вымирание.

Сторонники этой концепции не признают, что наличие или отсутствие определенных ископаемых остатков может указывать на время появления или вымирания того или иного вида, и приводят в качестве примера представителя кистеперых рыб – латимерию. По палеонтологическим данным кистеперые вымерли в период мелового периода, 70 миллионов лет назад. Однако это заключение пришлось пересмотреть, когда в районе Мадагаскара были найдены живые представители кистеперых. Сторонники теории стационарного состояния утверждают, что только изучая ныне живущие виды и сравнивая их с ископаемыми остатками, можно делать вывод о вымирании, да и в этом случае весьма вероятно, что он окажется неверным. Используя палеонтологические данные для подтверждения концепции стационарного состояния, ее немногочисленные сторонники интерпретируют появление ископаемых остатков в экологическом аспекте. Так, например, внезапное появление какого-либо ископаемого вида в определенном пласте они объясняют увеличением численности его популяции или его перемещением в места, благоприятные для сохранения остатков. Большая часть доводов в пользу этой концепции связана с такими неясными аспектами эволюции, как значение разрывов в палеонтологической летописи, и она наиболее подробно разработана именно в этом направлении.

Концепция панспермии

Эта концепция не предлагает никакого механизма для объяснения первичного возникновения жизни, а выдвигает идею о ее внеземном происхождении. Поэтому ее нельзя считать теорией возникновения жизни как таковой; она просто переносит проблему в какое-то другое место во Вселенной. Эта концепция разрабатывалась в середине XIX века Г. Рихтером. Ее разделяли такие ученые как С. Аррениус, Г. Гельмгольц, В.И. Вернадский. Так, С. Аррениус в 1908 году высказал мысль о том, что жизнь на Земле началась тогда, когда на нашу планету из космоса попали зародыши жизни. «Частицы жизни», носящиеся в просторах космоса, переносимых давлением света от звезд, оседали то здесь, то там, осеменяя ту или иную планету.

Концепция панспермии утверждает, что жизнь могла возникнуть один или несколько раз в разное время и в разных частях Галактики или Вселенной. Для обоснования этой концепции используются многократные появления НЛО (неопознанные летающие объекты), наскальные изображения предметов, похожих на ракеты и «космонавтов», а также сообщения якобы о встречах с инопланетянами. Советские и американские исследования в космосе позволяют считать, что вероятность обнаружить жизнь в пределах нашей Солнечной системы ничтожна, однако они не дают никаких сведений о возможной жизни вне этой системы.

При изучении материала метеоритов и комет в них были обнаружены многие «предшественники живого» – такие вещества, как цианогены, синильная кислота и органические соединения, которые, возможно, сыграли роль «семян», падавших на голую Землю. Появился ряд сообщений о нахождении в метеоритах объектов, напоминающих примитивные формы жизни, однако доводы в пользу их биологической природы пока не кажутся ученым убедительными. Тем не менее эта концепция полного научного обоснования не получила. Хотя спектр возможных условий для существования живых организмов достаточно широк, все же считается, что они должны погибнуть в космосе под действием жесткого космического и ультрафиолетового излучений. Кроме того, эта концепция не решает вопрос о происхождении жизни, а говорит о занесении жизни на Землю. Где же и когда возникла жизнь?

Гипотеза случайного возникновения жизни

Согласно этой гипотезе, на Земле случайно возникла первичная живая молекула. Эта молекула появилась лишь один раз за время существования нашей планеты. Поэтому экспериментально эту гипотезу проверить невозможно. Тем не менее гипотеза получила широкое распространение среди генетиков, особенно в связи с открытием роли ДНК в явлениях наследственности. Г. Меллер в 1929 г. развивал мысль о том, что на Земле случайно образовалась единичная «живая генная молекула», обладавшая внутримолекулярным жизнеопределяющим строением, которое она пронесла неизменным через все развитие земной жизни. Долгое время моделью такой «живой молекулы» считали частицу нуклеопротеида вируса табачной мозаики. Но

сейчас стало очевидным, что вирусы нельзя рассматривать как промежуточный этап на пути образования жизни. Сначала должна возникнуть жизнь, а потом возникнуть вирусы.

Вероятность случайного возникновения жизни очень мала, тем не менее, эта гипотеза до сих пор широко распространена в научной литературе.

Первичная биохимическая эволюция

Среди астрономов, геологов и биологов принято считать, что возраст Земли составляет примерно 4,5–5 миллиардов лет.

По мнению многих биологов, в далеком прошлом состояние нашей планеты было мало похоже на нынешнее: по всей вероятности, температура ее поверхности была очень высокой (4000–8000^0 С), и по мере того, как Земля остывала, более тугоплавкие вещества конденсировались и образовывали земную кору. Поверхность планеты была, вероятно, голой и неровной, так как на ней в результате вулканической активности, непрерывных подвижек коры и сжатия, вызванного охлаждением, происходило образование складок и разрывов.

Полагают, что в те времена атмосфера была совершенно не такая, как теперь. Легкие газы – водород, гелий, азот, кислород и аргон – уходили из атмосферы, так как гравитационное поле нашей еще недостаточно плотной планеты не могло их удержать. Однако простые соединения, содержащие (среди прочих) эти элементы, должны были удерживаться; к ним относятся вода, аммиак, двуокись углерода и метан. До тех пор пока температура Земли не упала ниже 100^0 С, вся вода, вероятно, находилась в парообразном состоянии. Атмосфера была, по-видимому, «восстановительной», о чем свидетельствует наличие в самых древних горных породах Земли металлов в восстановленной форме, таких, как двухвалентное железо. Более молодые горные породы содержат металлы в окисленной форме, например, трехвалентное железо. Отсутствие в атмосфере кислорода было, вероятно, необходимым условием для возникновения жизни; лабораторные опыты показывают, что, как это ни парадоксально, органические вещества (основа живых организмов) гораздо легче создаются в восстановительной среде, чем в атмосфере, богатой кислородом.

В 1923 г. А.И. Опарин высказал мнение, что атмосфера первичной Земли была не такой, как сейчас, а примерно соответствовала сделанному выше описанию. Исходя из теоретических представлений, он полагал, что органические вещества, возможно, углеводороды, могли создаваться в океане из более простых соединений; энергию для этих реакций синтеза, вероятно, доставляла интенсивная солнечная радиация (главным образом ультрафиолетовая), падавшая на Землю до того, как образовался слой озона, который стал задерживать большую ее часть. По мнению Опарина, разнообразие находившихся в океанах простых соединений, площадь поверхности Земли, доступность энергии и масштабы времени позволяют предположить, что в океанах постепенно накопились органические вещества и образовался тот «первичный бульон», в котором могла возникнуть жизнь. Эта идея была не нова: в 1871 г. сходную мысль высказал Ч. Дарвин: «Часто говорят, что все необходимые для создания живого организма условия, которые могли когда-то существовать, имеются и в настоящее время. Но если (ох, какое это большое «если») представить себе, что в каком-то небольшом теплом пруду, содержащем всевозможные аммонийные и фосфорные соли, при наличии света, тепла, электричества образовался бы химическим путем белок, готовый претерпеть еще более сложные превращения, то в наши дни такой материал непрерывно пожирался бы или поглощался, чего не могло случиться до того, как появились живые существа».

В 1953 г. Стенли Миллер в ряде экспериментов моделировал условия, предположительно существовавшие на первобытной Земле. В созданной им установке, снабженной источником энергии, ему удалось синтезировать многие вещества, имеющие важное биологическое значение, в том числе ряда аминокислот, аденин и простые сахара, такие как рибоза. После этого Орджел в Институте Солка в сходном эксперименте синтезировал нуклеотидные цепи длиной в шесть мономерных единиц (простые нуклеиновые кислоты).

Позднее возникло предположение, что в первичной атмосфере в относительно высокой концентрации содержалась двуокись углерода. Недавние эксперименты, проведенные с использованием установки Миллера, в которую, однако, поместили смесь CO_2 и H_2O и только следовые количества других газов, дали такие же результаты, какие получил Миллер. Теория Опарина завоевала широкое признание, но она оставляет нерешен-

ными проблемы, связанные с переходом от сложных органических веществ к простым живым организмам. В этом аспекте теория биохимической эволюции предлагает общую схему, приемлемую для большинства современных биологов. Однако они не пришли к единому мнению о деталях этого процесса.

Опарин полагал, что решающая роль в превращении неживого в живое принадлежала белкам. Благодаря амфотерности белковых молекул, они способны к образованию коллоидных гидрофильных комплексов – притягивают к себе молекулы воды, создающие вокруг них оболочку. Эти комплексы могут обособляться от всей массы воды, в которой они суспензированы (водной фазы), и образовывать своего рода эмульсию. Слияние таких комплексов друг с другом приводит к отделению коллоидов от водной среды – процессу, называемому *коацервацией* (от лат. coacervus – сгусток или куча). Богатые коллоидами коацерваты, возможно, были способны обмениваться с окружающей средой веществами и избирательно накапливать различные соединения, особенно кристаллоиды. Коллоидный состав данного коацервата, очевидно, зависел от состава среды. Разнообразие состава «бульона» в разных местах вело к различиям в химическом составе коацерватов и поставляло таким образом сырье для «биохимического естественного отбора».

Предполагается, что в самих коацерватах входящие в их состав вещества вступали в дальнейшие химические реакции; при этом происходило поглощение коацерватами ионов металлов и образование ферментов. На границе между коацерватами и внешней средой выстраивались молекулы липидов (сложные углеводороды), что приводило к образованию примитивной клеточной мембраны, обеспечивавшей коацерватам стабильность. В результате включения в коацерват предсуществующей молекулы, способной к самовоспроизведению, и внутренней перестройки покрытого липидной оболочкой коацервата могла возникнуть примитивная клетка. Увеличение размеров коацерватов и их фрагментация, возможно, приводило к образованию идентичных коацерватов, которые могли поглощать больше компонентов среды, так что этот процесс мог продолжаться. Такая предположительная последовательность событий должна была привести к возникновению примитивного самовоспроизводящегося гетеротрофного организма, питавшегося органическими веществами первичного бульона.

Природа самых первых организмов

Данные, которыми мы сейчас располагаем, позволяют думать, что первые организмы были гетеротрофами, так как только гетеротрофы могли использовать имевшиеся в среде запасы энергии, заключенные в сложных органических веществах первичного «бульона». Химические реакции, необходимые для синтеза питательных веществ, слишком сложны, поэтому они вряд ли могли возникнуть у самых ранних форм жизни.

Предполагается, что по мере образования в ходе «биохимической эволюции» более сложных органических веществ некоторые из них оказались способными использовать солнечную радиацию как источник энергии для синтеза новых клеточных материалов. Возможно, что включение этих веществ в уже существующие клетки позволило последним синтезировать новые клеточные материалы, так что им больше не надо было поглощать органические вещества – клетки стали автотрофными. Возрастание численности гетеротрофов должно было привести к уменьшению пищевых ресурсов первичного бульона, и возникшая конкуренция ускорила появление автотрофов.

Самые первые фотосинтезирующие организмы, хотя и использовали в качестве источника энергии солнечную радиацию, были лишены метаболического пути, ведущего к образованию молекулярного кислорода. Полагают, что на более позднем этапе возникли организмы, способные к фотосинтезу с выделением кислорода, подобные современным сине-зеленым водорослям, и это привело к постепенному накоплению кислорода в атмосфере. Увеличение количества O_2 в атмосфере и его ионизация с образованием озонового слоя уменьшили количество ультрафиолетовой радиации, достигающей Земли. Это привело к замедлению синтеза новых сложных веществ, но одновременно повысило устойчивость преуспевающих форм жизни. Изучение физиологии современных организмов выявило большое разнообразие биохимических путей, участвующих в связывании и освобождении энергии, которые, возможно, отражают первые эксперименты, проводившиеся природой на живых организмах.

Несмотря на все сказанное выше, проблема возникновения жизни остается нерешенной, и при всех огромных успехах биохимии ответы на вопросы носят умозрительный характер. Читателю был предложен в упрощенном виде сплав из имеющихся

гипотез. Гипотеза, которая могла бы стать «руководящей» и превратиться во всеобъемлющую теорию, пока не разработана. Подробности перехода от сложных неживых веществ к простым живым организмам покрыты тайной.

Переход от простых живых организмов к более сложным и развитие сложных организмов, возникновение новых организмов, новых структур, форм и видов пытались объяснить многие естествоиспытатели. Одни из них считали, что организмы практически не изменялись, другие рассматривали изменения форм и видов живых организмов как постепенный эволюционный процесс, происходивший под действием различных факторов. В разработке гипотез и теорий развития жизни принимали участие многие ученые, такие как Ж. Кювье, Ж.Б. Ламарк, Дж. Уоллес, Ч. Дарвин, В. Иогансен, Г. Мендель и многие другие.

Концепция катастроф Ж. Кювье

В первой четверти XIX века были достигнуты большие успехи в таких областях биологической науки, как сравнительная анатомия и палеонтология. Основные заслуги в развитии этих области биологии, особенно в сравнительной анатомии, принадлежат французскому ученому Ж.Л. Кювье. Он систематически проводил сравнение строения и функций одного и того же органа или целой системы органов через все разделы животного царства. Исследуя строение органов позвоночных животных, Кювье установил, что все органы животного представляют собой части единой целостной системы. Вследствие этого строение каждого органа закономерно соотносится со строением всех других. Ни одна часть тела не может изменяться без соответствующего изменения других частей. Это означает, что каждая часть тела отражает принципы строения всего организма. Так, если у животного имеются копыта, вся его организация отражает травоядный образ жизни: зубы приспособлены к перетиранию грубой растительной пищи, челюсти имеют определенную форму, желудок многокамерный, очень длинный кишечник и т.д. Соответствие строения органов животных друг другу Кювье назвал принципом корреляций (соотносительности). Принцип корреляций Кювье успешно применил в палеонтологии. Он восстанавливал облик давно исчезнувшего организма по сохранившимся до наших дней отдельным фрагментам.

В процессе своих исследований Кювье заинтересовался историей Земли, земных животных и растений. В результате огромной работы он пришел к следующим выводам:

- Земля на протяжении своей истории изменяла свой облик;
- Одновременно с изменением Земли изменялось и ее население;
- Изменения земной коры происходили и до появления живых существ.

Кювье был убежден в невозможности возникновения новых форм жизни и доказал, что современные нам виды живых организмов не изменились, по крайней мере со времен фараонов. Но самым существенным возражением против теории эволюции Кювье считал видимое отсутствие переходных форм между современными животными и теми, останки которых находили при раскопках.

Многочисленные палеонтологические данные, тем не менее, неопровержимо свидетельствовали о смене форм животных на Земле. Реальные факты вступали в противоречие с библейской легендой. Сначала сторонники неизменности живой природы объясняли такие противоречия тем, что вымерли те животные которых Ной не взял в свой ковчег во время всемирного потопа. Ненаучность этого заключения была опровергнута тогда, когда была установлена разная степень древности вымерших животных. Тогда Кювье выдвинул теорию катастроф. Согласно этой теории, причиной вымирания были периодически происходившие крупные геологические катастрофы, уничтожавшие на больших территориях растительность и животных. Потом эта территория заселялась видами, проникавшими из соседних областей.

Последователи и ученики Кювье, развивая его учение, пошли дальше, утверждая, что катастрофы охватывали весь земной шар. После каждой катастрофы следовал новый акт божественного творения. Таких катастроф и актов творения они насчитывали 27.

Теория катастроф получила, в свое время, достаточно широкое распространение. Но целый ряд ученых очень критически относился к ней.

Различные эволюционные концепции

Концепция эволюции занимает особое место в изучении истории жизни. Она стала той объединяющей теорией, которая служит фундаментом для всей биологии. Эволюция подразумевает всеобщее постепенное развитие, упорядоченное и последовательное. Применительно к живым организмам эволюцию можно определить как развитие сложных организмов из предшествующих более простых организмов с течением времени.

Представление об эволюции ведет свое начало не от Дарвина с его книгой «Происхождение видов». Еще задолго до Дарвина попытки человека объяснить очевидное разнообразие окружающих его живых организмов парадоксальным образом привлекали его внимание к чертам структурного и функционального сходства между ними. Выдвигались различные эволюционные гипотезы, чтобы объяснить это сходство, и такие идеи сами «эволюционировали» по мере развития науки.

История развития эволюционной концепции показывает, что концепция непрерывности или постепенного развития более сложных видов из предшествующих более простых форм возникла у ряда философов и естествоиспытателей еще до формального провозглашения в начале XIX в. эволюционных гипотез.

Концепция эволюции Ламарка

Французский биолог Ламарк в 1809 г. выдвинул гипотезу о механизме эволюции, в основе которой лежали две предпосылки: упражнение и неупражнение частей организма и наследование приобретенных признаков. Изменения среды, по его мнению, могут вести к изменению форм поведения, что вызовет необходимость использовать некоторые органы или структуры по-новому или более интенсивно (или, наоборот, перестать ими пользоваться). В случае интенсивного использования органа, его эффективность и (или) величина будут возрастать, а при неиспользовании может наступить дегенерация и атрофия. Эти признаки, приобретенные индивидуумом в течение его жизни, согласно Ламарку, наследуются, т.е. передаются потомкам.

С точки зрения ламаркизма, длинная шея и длинные ноги жирафа – результат того, что многие поколения его некогда ко-

ротконогих и короткошеих предков питались листьями деревьев, за которыми им приходилось тянуться все выше и выше. Незначительное удлинение шеи и ног, происходившее в каждом поколении, передавалось следующему поколению, пока эти части тела не достигли своей нынешней длины. Перепонки между пальцами у водоплавающих птиц и форму тела камбалы объясняли таким же образом. Перепонки возникли в результате постоянного раздвигания пальцев и растягивания кожи между ними при плавании в поисках пищи или для спасения от хищников, а уплощенное тело – из-за лежания на боку на мелководье.

Таким образом, для ламаркизма характерны два основных методологических признака:

- телеологизм – присущее организмам стремление к совершенствованию;
- организмоцентризм – признание организма элементарной единицей эволюции, прямо приспосабливающейся к изменению внешних условий и передающей эти изменения по наследству.

Также важно отметить, что Ламарк особо выделял значение психического фактора в процессах приспособления высших животных, которые стремятся к своему изменению.

Хотя концепция Ламарка способствовала подготовке почвы для принятия эволюционной концепции, его взгляды на механизм изменения не получили широкого признания.

Однако Ламарк был прав, подчеркивая роль условий жизни в возникновении фенотипических изменений у данной особи. Например, занятия физкультурой увеличивают объем мышц, но хотя эти приобретенные признаки затрагивают фенотип, они не являются генетическими, не могут передаваться потомству. Для того чтобы доказать это, Вейсман на протяжении многих последовательных поколений отрезал мышам хвосты. По концепции Ламарка вынужденное неупотребление хвостов должно было бы привести к их укорочению у потомков; однако этого не произошло. Вейсман постулировал, что признаки, приобретаемые сомой (телом) и приводящие к изменению фенотипа, не оказывают прямого воздействия на половые клетки (гаметы), с помощью которых признаки передаются следующему поколению. Его концепция непрерывности «зародышевой плазмы» была исторически необходима, для того чтобы стало возможным признание наследования генетических особенностей при половом размножении.

Дарвин, Уоллес и происхождение видов. Естественный отбор

Чарлз Роберт Дарвин родился в 1809 г. Он был сыном состоятельного врача и, подобно многим великим людям, вначале как ученый особенно не выделялся. В 1831 г. он принял предложение отправиться в качестве натуралиста (без жалования) в путешествие на военном корабле «Бигль», который уходил на пять лет в море для проведения топографических съемок у восточного побережья Южной Америки. «Бигль» возвратился в Фалмут в октябре 1836 г., проделав путь вдоль берегов Чили, через Галапагосские острова, Таити, Новую Зеландию, Тасманию и Южную Африку. Большую часть этого времени Дарвин занимался геологическими исследованиями; однако во время пятинедельного пребывания на Галапагосских островах его внимание привлекло сходство между флорой и фауной этих островов и материка. Особенно его заинтересовало распространение черепах и вьюрков. Он собрал множество данных об изменчивости организмов, которые убедили его в том, что виды нельзя считать неизменяемыми. После возвращения в Англию Дарвин занялся изучением практики разведения голубей и других пород домашних животных, что привело его к концепции искусственного отбора, однако он все еще не мог представить себе, каким образом отбор мог бы действовать в природных условиях. В 1778 г. священник Томас Мальтус опубликовал свой труд «Трактат о народонаселении», в котором ярко обрисовал, к чему мог бы привести рост населения, если бы он ничем не сдерживался. Дарвин перенес его рассуждения на другие организмы и обратил внимание на то, что, несмотря на их высокий репродуктивный потенциал, численность популяций остается относительно постоянной. Сопоставляя огромное количество сведений, он начал понимать, что в условиях интенсивной конкуренции между членами популяции любые изменения, благоприятные для выживания в данных условиях, повышали бы способность особи размножаться и оставлять плодовитое потомство, а неблагоприятные изменения, очевидно, невыгодны, и у обладающих ими организмов шансы на успешное размножение понижались бы. Эти соображения послужили остовом для теории эволюции путем естественного отбора, сформулированной Ч. Дарвином в 1839 г.

В сущности, наибольший вклад Ч. Дарвина в науку заключается не в том, что он доказал существование эволюции, а в том, что он объяснил, как она может происходить.

Тем временем другой естествоиспытатель, А. Уоллес, много путешествовавший по Южной Америке и островам юго-восточной Азии и тоже читавший Мальтуса, пришел к тем же выводам о естественном отборе, что и Ч. Дарвин.

В 1858 г. А. Уоллес изложил свою теорию на 20 страницах и послал их Дарвину. Это стимулировало и ободрило Дарвина, и в июле 1858 г. Ч. Дарвин и А. Уоллес выступили с докладами о своих идеях на заседании Линнеевского общества в Лондоне. Спустя год с небольшим, в ноябре 1859 г., Ч. Дарвин опубликовал «Происхождение видов путем естественного отбора». Все 1250 экземпляров книги были проданы в первый же день, и говорят, что по своему воздействию на человеческое мышление она уступала только Библии.

Естественный отбор

Согласно Дарвину и Уоллесу, механизмом, с помощью которого из предшествовавших видов возникают новые виды, служит естественный отбор. Эта гипотеза (или теория) основана на трех наблюдениях и двух выводах, которые можно сформулировать следующим образом:

Наблюдение 1. Особи, входящие в состав популяции, обладают большим репродуктивным потенциалом.

Наблюдение 2. Число особей в каждой данной популяции примерно постоянно.

Вывод 1. Многим особям не удается выжить и оставить потомство. В популяции происходит «борьба за существование».

Наблюдение 3. Во всех популяциях существует изменчивость.

Вывод 2. В «борьбе за существование» те особи, признаки которых наилучшим образом приспособлены к условиям жизни, обладают «репродуктивным преимуществом» и производят больше потомков, чем менее приспособленные особи.

Вывод 2 содержит гипотезу о естественном отборе, который может служить механизмом эволюции.

Доказательства существования естественного отбора

Наблюдение 1. Мальтус привлек внимание к репродуктивному потенциалу человека и отметил, что численность народонаселения возрастает по экспоненте. Способность к размножению свойственна всему живому и представляет собой ту основную силу, которая обеспечивает сохранение вида. Это относится к самым разным организмам. Если бы каждая женская гамета была оплодотворена и развилась в половозрелую особь, Земля через несколько дней оказалась бы перенаселенной.

Наблюдение 2. Численность всех популяций ограничивается или контролируется различными факторами среды, такими как пищевые ресурсы, пространство и свет. Размеры популяций возрастают до тех пор, пока среда еще может выдерживать их дальнейшее увеличение, после чего достигается некое равновесие. Численность колеблется вокруг этого равновесного уровня. Таким образом, величина популяции обычно остается относительно постоянной в течение периода времени, продолжительность которого зависит от продолжительности жизненного цикла данного организма.

Вывод 1. Непрерывная конкуренция между индивидуумами за факторы среды приводит к «борьбе за существование». Происходит ли конкуренция в пределах одного вида (внутривидовая конкуренция) или между представителями разных классов (межвидовая конкуренция), не имеет значения в смысле ее влияния на численность популяции, но в любом случае некоторые организмы не смогут выжить или оставить потомство.

Наблюдение 3. Изучение жуков в студенческие годы в Кембридже, наблюдения, сделанные во время путешествия на «Бигле», и знания, приобретенные при разведении и селекции голубей с целью выработки определенных признаков, убедили Дарвина в важном значении внутривидовой изменчивости. А адаптивное значение межвидовой изменчивости, обнаруженной у галапагосских вьюрков (род Geospiza), дало Дарвину ключ к его второму выводу. Материалы, собранные Уоллесом на Малайском архипелаге, подтверждали существование межпопуляционных различий. Однако Дарвин и Уоллес не смогли выявить источники всех этих форм изменчивости. Вопрос оставался неясным до тех пор, пока Мендель не открыл корпускулярную приро-

ду наследственности и не показал, каким образом сохраняются генетические различия.

Вывод 2. Поскольку все особи в пределах данной популяции подвержены изменчивости и поскольку ясно, что неизбежна «борьба за существование», из этого следует, что особи, обладающие определенными признаками, будут более приспособлены к тому, чтобы выжить и оставить потомство. Решающий фактор, определяющий выживание, – это приспособленность к среде. Любое, пусть самое незначительное физическое, физиологическое или поведенческое изменение, дающее одному организму преимущество перед другими, будет действовать в «борьбе за существование» как селективное преимущество (термин «селективное преимущество» имеет не столь эмоциональную окраску, как термин «выживание наиболее приспособленных», созданный философом и социологом Гербертом Спенсером). Благоприятные изменения будут передаваться следующим поколениям, а неблагоприятные отметаются (элиминируются) отбором, так как они не выгодны организму. Действуя таким образом, естественный отбор ведет к повышению «мощности» вида, а в филогенетическом плане – обеспечивает его выживание (если условия среды остаются постоянными). Вся суть теории естественного отбора Дарвина и Уоллеса в наиболее сжатом виде выражена самим Дарвином: «Так как рождается гораздо больше особей каждого вида, чем может выжить, и так как между ними поэтому часто возникает борьба за существование, то из этого следует, что любое существо, если оно хотя бы незначительно изменится в направлении, выгодном для него в сложных и нередко меняющихся условиях его жизни, будет иметь больше шансов выжить и, таким образом, будет сохраняться естественным отбором. В силу действия закона наследственности всякая сохраненная отбором разновидность будет размножаться в своей новой, видоизмененной форме» (Дарвин, 1859).

Теория эволюции, сформулированная Дарвином, обросла множеством неверных представлений; поэтому необходимо сделать следующие замечания:

1. Дарвин не пытался объяснить возникновение жизни на Земле; его интересовало, каким образом из существующих видов могут возникать новые виды.

2. Естественный отбор – это не просто негативная, разрушающая сила; он может быть механизмом, с помощью которого в популяцию вносятся позитивные новшества. В процессе попу-

ляризации идеи «борьбы за существование» распространялись неудачные выражения, такие как «выживание наиболее приспособленных» и «устранение неприспособленных», введенные философом Гербертом Спенсером и подхваченные тогдашней прессой.

3. Упрощенная, слишком прямолинейная трактовка прессой концепции о «происхождении человека от обезьяны» болезненно задевала чувства как клерикальных, так и мирских слоев общества. Церковь рассматривала это как оскорбление ее учения о том, что бог создал человека «по своему образу и подобию», а общество было возмущено принижением «высокого» положения человека в царстве животных.

4. Явное противоречие между описанным в Книге Бытия сотворением Вселенной за шесть дней и концепцией постепенного формирования все новых видов еще более обострилось после заседания Британской ассоциации по распространению научных знаний, состоявшегося в июне 1860 г. На этом заседании епископ Оксфордский Самуэль Уилберфорс неистово обрушился на выводы Дарвина, изложенные в «Происхождении видов», но, поскольку он не был биологом, его выступление страдало неточностями. Заключая свою речь, епископ обратился к одному из защитников дарвиновской теории – профессору Томасу Гексли – с вопросом, считает ли он себя связанным с обезьянами предками через дедушку или бабушку. В ответ на это Гексли изложил основные идеи Дарвина и указал на искажения, допущенные Уилберфорсом. В заключение он дал понять, что предпочел бы иметь своим предком обезьяну, чем «находиться в родстве с человеком, который использует большие таланты для того, чтобы затемнять истину». Эта досадная дискуссия продолжалась и известна под названием «Книга Бытия против Эволюции». Профессор Р. Дж. Берри охарактеризовал крайние группировки в этих дебатах следующим образом:

а) те, кто преклоняется перед учеными и считает, что библейская история опровергнута;

б) те, кто остается под влиянием Священного писания и собственной его интерпретации и закрывает глаза на тот факт, что творение господа бога можно изучать научными методами.

Теорией Дарвина завершились длительные поиски естествоиспытателей объяснения многим чертам сходства, наблюдаемым у организмов, относящимся к разным видам. Дарвин объяснил это сходство родством и доказал, как идет образование но-

вых видов, как происходит эволюция – направленный процесс, связанный с выработкой приспособлений по мере прогрессивного усложнения строения и функций животных и растений.

С возникновением дарвинизма на первый план биологических исследований выдвинулись четыре задачи:

- сбор доказательств самого факта эволюции;
- накопление данных об аддитивном характере эволюции и единстве организационных и приспособительных признаков;
- экспериментальное изучение взаимодействия наследственной изменчивости, борьбы за существование и естественного отбора как движущей силы эволюции;
- изучение закономерностей видообразования и макроэволюции.

Основные успехи в развитии эволюционной теории были достигнуты во второй половине XIX века в двух областях. Был доказан принцип эволюции на фактическом материале из разных областей эволюционной биологии. Было доказано, что эволюция имеет адаптивный характер, и положено начало изучению отбора как причины формирования адаптаций. Но это было лишь косвенным доказательством эволюционной теории. Одной из главных причин возникновения антидарвинизма была слабая экспериментальная база дарвинизма, которая позволила бы на практике доказать, что отбор действительно является основной движущей силой адаптациогенеза и видообразования.

Антидарвинизм конца XIX – начала XX века

Критика дарвинизма велась со дня его возникновения. Многим ученым не нравилось, что изменения, по Дарвину, могут идти во всех направлениях и случайным образом. Одни из них утверждали, что изменения происходят не беспорядочно и случайно, а по законам форм, другие придерживались идеи, в соответствии с которой взаимопомощь являлась более важным фактором эволюции, чем борьба. Рост антидарвинизма имел вполне объективные причины: из поля зрения дарвинистов выпал ряд фундаментальных, важных для эволюционной теории вопросов, ради решения которых она создавалась. Это причины сохранения в историческом развитии системного единства организмов, меха-

низмы включения в эволюционный процесс онтогенетических перестроек, неравномерность темпов эволюции, причины макро- и прогрессивной эволюции, крупномасштабные события в эпохи биологических кризисов.

Основными течениями антидарвинизма в те годы были неоламаркизм и концепции телеогенеза.

Неоламаркизм – первое крупное антидарвинистское течение, возникшее еще в конце девятнадцатого века. Это течение основывалось:

- на признании адекватной изменчивости, возникающей под непосредственным или косвенным влиянием факторов среды и обеспечивающей прямое приспособление организма к ним;
- на идее наследования приобретенных таким образом признаков;
- на негативном отношении к созидательной роли естественного отбора.

Разновидностями неоламаркизма были:

- механоламаркизм (Г. Спенсер, Т. Эймер), который рассматривал концепцию эволюции, согласно которой целесообразная организация создается путем прямого или «функционального» приспособления (упражнения органов по Ламарку). Вся сложность эволюционного процесса сводилась к простой теории равновесия сил, по существу заимствованной из ньютоновской механики;
- психоламаркизм (А. Паули, А. Вагнер) – основу которого составили идеи Ламарка о значении в эволюции животных таких факторов, как привычки, усиление воли, сознание, присущие не только животным, но и составляющим их клеткам. Таким образом, эволюция представлялась как постепенное усиление роли сознания в развитии от примитивных существ до разумных форм жизни, что развивало учение о панпсихизме (всеобщей одушевленности);
- ортоламаркизм (К. Негели, Э.Коп, Г. Осборн) – представлял совокупность гипотез, развивающих идею Ламарка о стремлении организмов к совершенствованию как внутренне присущей всему живому движущей силе эволюции. Именно они определяли прямолинейность эволюции.

Крупнейшим представителем неоламаркизма в нашей стране был Т.Д. Лысенко, согласно которому наследственность рассматривалась как свойство всего организма.

Телеологическая концепция эволюции (телеогенез) идейно была связана с ортоламаркизмом, так как исходила из той же идеи Ламарка о внутреннем стремлении всех живых организмов к прогрессу. Наиболее видным представителем телеологического течения был русский естествоиспытатель К. Бэр.

Модификацию телеологической концепции представляли взгляды сторонников сальтационизма, заложенного в 1860 –1870 годах А. Зюссом и А. Келликером. По их мнению, уже на заре появления жизни возник весь план будущего развития, а влияние внешней среды определяло лишь частные моменты эволюции. Все крупнейшие эволюционные события – от возникновения новых видов до смены биот в геологической истории Земли – происходят в виде скачкообразных изменений, прежде всего преобразований эмбриогенеза (сальтациях или макромутациях). По сути дела, это модифицированная дополнительными аргументами теория катастроф. Но эти взгляды существуют до сих пор.

Ценность этого направления заключается в том, что оно обращает внимание на специфичность макроэволюции, на значение внутренней конституции организмов как факторов, ограничивающих возможные пути дальнейшего эволюционного развития, а также на неравномерность темпов эволюции и возможность замены в ее ходе одних факторов другими.

В начале двадцатого века возникает учение о наследственности и наследуемости измененных признаков (генетика). Основателем генетики считается Г. Мендель, ставивший свои опыты еще в 1860-х годах. Но датой рождения генетики считается 1900 г., так как в это время Г. де Фриз, К. Корренс и Э Чермак вторично установили правила наследования признаков в поколениях гибридных форм, открытые Менделем еще в 1865 г. Выступление генетиков против учения Дарвина вылилось в широкий фронт, в результате чего в эволюционной теории возник глубокий кризис. Возник так называемый генетический антидарвинизм, объединяющий несколько течений: мутационизм, гибридогенез, преадапционизм и др. Открытие устойчивости генов трактовалось как их неизменность, что способствовало распространению антиэволюционизма. Мутационная изменчивость отождествлялась с эволюционными преобразованиями, что ис-

ключало необходимость процесса отбора, как главной причины эволюции.

Вершиной антидарвиновских выступлений генетиков была теория номогенеза Л.С. Берга, разработанная в 1922 году. В основе ее лежит идея, о том что эволюция есть запрограммированный процесс реализации внутренних, имманентных живому организму закономерностей. Берг считал, что живым организмам присуща внутренняя сила неизвестной природы, действующая целенаправленно, независимо от внешней среды, в сторону усложнения организмов. В доказательство Берг приводил много данных по конвергентной и параллельной эволюции разных групп растений и животных.

Современные представления об эволюции

Теория эволюции, предложенная Дарвином и Уоллесом, была расширена и разработана в свете современных данных генетики, палеонтологии, молекулярной биологии, экологии и этологии и получила название неодарвинизма. Неодарвинизм можно определить как теорию органической эволюции путем естественного отбора признаков, детерминированных генетически.

Термин «эволюция» может означать как сам этот процесс, так и его результат; соответственно разные аспекты неодарвинизма опираются на доказательства разного типа. Для того чтобы признать сформулированную выше неодарвинистскую эволюционную теорию, необходимо:

1) установить факт изменения форм жизни во времени (эволюция в прошлом);

2) выявить механизм, производящий эволюционные изменения (естественный отбор генов);

3) продемонстрировать эволюцию, происходящую в настоящее время («эволюция в действии»).

Свидетельствами эволюции, происходившей в прошлом, служат ископаемые остатки организмов и стратиграфия. Данные о механизме эволюции получают путем экспериментальных исследований и наблюдений, касающихся естественного отбора наследуемых признаков и механизма наследования, демонстрируемого классической генетикой (работы Менделя на горохе и др.). Наконец, сведения о действии этих процессов в наше время

дает изучение популяций современных организмов, например, исследование видообразования у серебристой чайки, а также результаты искусственного отбора и генной инженерии, такие как создание новых сортов пшеницы или получение моноклональных антител.

Не существует пока твердо установленных законов эволюции; у нас есть лишь хорошо подкрепленные фактическими данными гипотезы, которые в совокупности составляют достаточно обоснованную теорию. Преждевременное принятие современных концепций как неких догматических истин на достигнутом сейчас уровне, равно как и на любом уровне научного исследования, может подавить интеллектуальный рост и поиски истины. Некритическое принятие ряда представлений эволюционной теории служит тому примером. Некоторые из событий, приводимых в качестве доказательств эволюционной теории, могут быть воспроизведены в лаборатории, однако это не значит, что они действительно имели место в прошлом; они просто свидетельствуют о возможности таких событий. В современных научных дискуссиях об эволюции обсуждается не сам факт ее существования, а то, что она происходит путем естественного отбора случайно возникающих мутаций.

Подтверждения теории эволюции

Сведения, подтверждающие современные сведения об эволюции, поступают из самых разных источников, среди которых главное место занимают палеонтология, биогеография, систематика, селекция растений и животных, морфология, изучение адаптивной радиации, сравнительная эмбриология и сравнительная биохимия.

Большую часть данных, приводимых в этой главе, не была доступна Дарвину и Уоллесу в то время, когда они публиковали свои статьи о происхождении видов путем естественного отбора. Многие великие ученые обладают большими способностями к индукции, чем к дедукции, основанной на наблюдении и эксперименте, однако у Дарвина и Уоллеса, по-видимому, имелось удачное сочетание того и другого. Дарвин так пишет о совмещении этих двух подходов:

«В октябре 1838 г., т.е. спустя 15 месяцев после того, как я начал свое систематическое исследование, я взялся читать про-

сто для развлечения работу Мальтуса о народонаселении, и поскольку длительные наблюдения над жизнью животных и растений вполне подготовили меня к тому, чтобы оценить происходящую повсеместно борьбу за существование, я вдруг понял, что в таких условиях благоприятные изменения должны сохраняться, а неблагоприятные отметаться. Результатом всего этого должно быть формирование новых видов. Итак, я, наконец, получил теорию, с которой можно работать».

Представленные здесь данные в значительной мере подтверждают теорию эволюции путем естественного отбора, хотя и не могут быть бесспорными доказательствами. Эти данные получены в разных областях знания, и их интерпретация во всех случаях исходит из предположения о достоверности принятой здесь концепции эволюции. Большая часть этих данных подтверждает доводы в ее пользу, полученные из других источников. Среди них немало также доказательств, в свою очередь нуждающихся в подтверждении, а также исключений или сведений, которым можно дать иную интерпретацию; однако концепция эволюции в широком смысле основана на огромном количестве научных сведений, которые на нашем уровне изложения трудно представить в понятной и притом совершенно свободной от догматизма форме.

Современная теория эволюции значительно отличается от дарвиновской по целому ряду важнейших научных положений

- в ней ясно выделяется элементарная структура, с которой начинается эволюция. Такой элементарной структурой принято считать популяцию, а не отдельную особь или вид, который включает в себя несколько популяций. Популяция – это совокупность всех представителей данного вида, занимающих определенную область в одно и то же время;
- в качестве элементарного проявления процесса эволюции современная теория рассматривает устойчивое изменение генотипа популяции;
- она более аргументированно и обоснованно истолковывает факторы и движущие силы эволюции, выделяя из них основные и неосновные.

К основным факторам процесса эволюции Дарвин и последующие теоретики относили изменчивость, наследственность и борьбу за существование. Сейчас к этим факторам добавляют множество других неосновных факторов, которые также оказы-

вают свое влияние на процесс эволюции. К основным факторам относят также мутационные процессы, популяционные волны численности и изоляцию. В целом историю развития эволюционных взглядов можно привести в виде таблицы 4.2.

Таблица 4.2

История эволюционных идей

ДРЕВНИЙ КИТАЙ	
Конфуций	Жизнь возникла из одного источника путем постепенного развертывания и разветвления
АНТИЧНАЯ ЭПОХА И СРЕДНЕВЕКОВЬЕ	
Диоген	Все вещи – результат дифференциации одной и той же вещи и подобны ей
Эмпедокл	Воздух, земля, огонь и вода – четыре корня всего сущего. Жизнь возникла в результате действия сил притяжения и отталкивания между этими четырьмя элементами. Пытался объяснить происхождение Вселенной, растений, животных и человека (впервые высказал зачатки идеи об эволюции органического мира)
Демокрит	Живые существа возникли на Земле путем самозарождения из ила
Анаксагор	Организмы возникли из «зародышей», носящихся в воздухе
Фалес (640–546 гг. до н.э.)	Все живое происходит из воды
Анаксимандр	Растения, затем животные и, наконец, человек возникли из тины на формировавшейся Земле
Аристотель (640–546 гг. до н.э.)	Сформулировал теорию непрерывного и постепенного развития живого из неживой материи, основанную на его наблюдениях над животными. Создал представление о «лестнице природы» применительно к

	миру животных
СРЕДНЕВЕКОВЬЕ (400–1400 н.э.)	Теории, основанные на более ранних концепциях, перечисленных выше, или признание креационизма
ВРЕМЯ УМОЗРИТЕЛЬНЫХ ПОСТРОЕНИЙ (1400–1790)	
Джон Рей (1627–1705)	Создал концепцию вида
Карл Линней (1707–1778)	Ввел биномиальную систему номенклатуры. Считал, что роды были созданы по отдельности, а виды представляют собой варианты родов
Бюффон (1707–1788)	Высказал мнение, что разные типы животных имеют различное происхождение и возникли в разное время. Признавал влияние внешней среды и наследование приобретенных признаков
Джеймс Хаттон (1726–1797)	Теория униформизма. Исчислял возраст Земли миллионами лет
ВРЕМЯ СОЗДАНИЯ ТЕОРИЙ (1790–1900)	
Эразм Дарвин (1731–1802)	Жизнь возникла из одной «нити», созданной богом. Не признавал отдельного сотворения человека. «Нить» эволюционировала в результате наследования приобретенных признаков
Жан-Батист Ламарк (1744–1829)	Наследование приобретенных признаков (воздействие внешней среды на организмы и передача фенотипических признаков потомству). Концепция упражнения и неупражнения органов
Жорж Кювье (1762–1832)	Использование палентологической летописи. Ископаемые остатки – результаты «катастроф», после которых создавались новые виды
Уильям Смит	Возражал против теории катастроф Кю-

(1797–1875)	вье, основываясь на непрерывном распространении сходных видов в близких по возрасту слоях
Чарлз Лайель (1795–1875)	Продемонстрировал прогрессивные изменения ископаемых остатков
Чарлз Дарвин (1809–1882)	Находился под влиянием идей Лайеля и Мальтуса. Сформулировал теорию эволюции в результате естественного отбора
Альфред Рассел Уоллес (1823–1913)	Сформулировал теорию, сходную с дарвиновской, но не включал в нее человека
Гуго де Фриз (1848–1935)	Открыл существование наследуемых мутаций, составляющих основу дискретной изменичивости; считал, что виды возникают в результате мутаций
Август Вейсман (1834–1914)	Показал, что половые клетки обособлены от остального организма и поэтому не подвержены влияниям, действующим на соматические ткани
Грегор Мендель (1822–1884)	Генетические исследования (опубликованы в 1865 г.), получившие признание только после 1900 г. Открыл законы наследственности
ДВАДЦАТЫЙ ВЕК (НЕОДАРВИНИЗМ)	
И.Л. Иогансен	Фенотипические признаки определяются генотипом и факторами среды
Т. Хант Морган	Создал хромосомную теорию наследственности, основанную на генетических и цитологических данных
Г. Дж. Меллер (1927)	Генотип может изменяться под действием рентгеновских лучей: индуцированные мутации
Р.А. Фишер (1930)	Изменения, изучаемые генетиками, аналогичны изменениям, выявляемым в палеонтологической летописи
Дж.У. Бидл и *Э.Л. Татум* (1941)	Продолжая работы А. Геррода (1909) и Дж. Холдейна (1935), выявили генетическую основу процессов биосинтеза
Дж. Ледерберг	Продемонстрировали ценность бактерий

и *А.Д. Херши* (1951)	как объектов для изучения генотипических изменений
Дж. Уотсон и *Ф. Крик* (1953)	Предложили модель молекулярной структуры ДНК и механизма ее репликации
Ф. Жакоб, Ж. Моно (1961)	Открыли механизм регуляции генной активности

Можно сделать вывод, что современное эволюционное учение свою главную задачу видит в возможности углубленного познания механизма эволюционных процессов предсказать возможности эволюционных преобразований и на этой основе управлять процессами эволюции. Огромную роль для решения этой задачи играет генетика.

Основы генетики

Центральным понятием генетики является «ген». Генами называют многочисленные различные единицы, из которых слагается вся совокупность генетической информации индивидуума. Каждый живой организм представляет собой неповторимую индивидуальность, потому что неповторима имеющаяся у каждого человека комбинация генов. Гены несут в себе информацию о том, какие белки и в каком соотношении должны вырабатывать наши клетки, а также о том, как будет сказываться на их образовании и взаимодействии та среда, в которой развивается и живет организм. Ген - элементарная единица наследственности, характеризующаяся рядом признаков. Ген – внутриклеточная молекулярная структура. По химическому составу - это нуклеиновые кислоты, в составе которых основную роль играют азот и фосфор. Гены, как правило, располагаются в ядрах клеток. Они имеются в каждой клетке. Поэтому их общее количество в крупных организмах может достигать многих миллиардов.

Генетика изучает два фундаментальных свойства живых систем: наследственность и изменчивость, то есть способность живых организмов передавать свои признаки и свойства из поколения в поколение, а также приобретать новые качества. Наследственность создает непрерывную преемственность признаков, свойств и особенностей развития в рядах поколений. Изменчивость обеспечивает материал для естественного отбора, создавая как новые варианты признаков, так и бесчисленные

комбинации прежде существовавших и новых признаков живых организмов.

Признаки и свойства организма, передающиеся по наследству, фиксируются в генах – участках хромосомы, определяющих возможность развития одного элементарного признака или синтез одной белковой молекулы. Хромосомы состоят из белка и дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). Совокупность всех внешних признаков организма называется фенотипом, а совокупность всех генов одного организма называется генотипом. Фенотип представляет собой результат взаимодействия генотипа и окружающей среды.

В основу генетики положены законы наследственности, обнаруженные Г. Менделем при проведении опытов по скрещиванию различных сортов гороха. Скрещивание двух организмов называется гибридизацией. Потомство от скрещивания двух особей с различной наследственностью называется гибридным, а отдельная особь – гибридом. В честь заслуг Менделя законы генетики названы его именем.

Первый закон Менделя говорит о том, что при скрещивании двух организмов, относящихся к двум разным чистым линиям (двух гомозиготных организмов - в их генотипах есть два абсолютно идентичных по последовательности нуклеотидов гена), отличающихся друг от друга одной парой альтернативных признаков, все первое поколение гибридов (FI) окажется единообразным и будет нести признак одного из родителей. Выбор этого признака зависит от того, какой из генов является доминантным, а какой рецессивным. Мутация (замена или потеря части нуклеотида в молекуле ДНК) может возникнуть в разных частях одного и того же гена. Это может происходить как в разных половых клетках одного организма, так и в клетках разных организмов. Таким путем образуется несколько аллелей одного гена и соответственно несколько вариантов одного признака (например, несколько аллелей по гену окраски глаз). Совокупность всех вариантов каждого из генов, входящих в состав генотипов определенной группы особей или вида в целом, называется генофондом. Это видовой, а не индивидуальный признак.

Второй закон Менделя говорит о том, что при скрещивании двух потомков первого поколения между собой (двух гетерозиготных организмов – признак записывается как Аа) во втором поколении наблюдается расщепление в определенном числовом

отношении: по фенотипу 3:1, по генотипу 1:2:1 (**Аа +Аа = АА + 2Аа +аа).**

Третий закон Менделя гласит, что при скрещивании двух гомозитных особей, отличающихся друг от друга по двум и более парам альтернативным признаков, гены и соответствующие им признаки наследуются независимо друг от друга и комбинируются во всех возможных сочетаниях.

Важным этапом в развитии генетики было создание хромосомной теории наследственности (Г. Морган). Морган выявил закономерности наследования признаков, гены которых находятся в одной хромосоме: они наследуются совместно. Это называется сцеплением генов (закон Моргана). Морган заметил, что у любого организма признаков много, а число хромосом невелико. Следовательно в каждой хромосоме должно находиться много генов.

Генетика ответила на вопрос о происхождении половых отличий. Так у человека из 23 пар хромосом 22 пары одинаковы и у мужского и у женского организма, а одна пара – различна. Именно благодаря этой паре и различаются два пола. Эту пару хромосом называют половыми хромосомами (одинаковые хромосомы называют аутосомами). Половые хромосомы у женщин одинаковы и их называют Х-хромосомами. У мужчин половые хромосомы различны: одна Х-хромосома, вторая – Y-хромосома. Для каждого человека решающую роль в определении пола играет Y-хромосома. Если яйцеклетка оплодотворяется сперматозоидом, несущим Х-хромосому, развивается женский организм. Если же в яйцеклетку проникает сперматозоид, несущий Y-хромосому, то развивается мужской организм.

Следующим важным этапом в развитии генетики стало открытие роли ДНК в передаче наследственной информации в 30-х годах XX века. Началось раскрытие генетических закономерностей на молекулярном уровне, зародилась новая дисциплина – молекулярная генетика. В ходе исследований было установлено, что основная функция генов – в кодировании синтеза белков. В результате исследований стало ясно, что для синтеза белков вместе с ДНК необходимо наличие РНК. Это видно из того, что ДНК остается в ядре эукариотических клеток, РНК находится в протоплазме, т.е. там где протекает синтез белка. ДНК и РНК построены из одних и тех же мономерных нуклеотидов, но между ними имеются и некоторые различия:

- несколько различаются входящие в их состав сахара (РНК содержит рибозу, а ДНК – дезоксирибозу);
- три азотистых основания: аденин (А), гуанин (Г), цитозин (Ц) в нуклеотидах ДНК и РНК одинаковы. Четвертое же основание у этих у этих двух нуклеиновых кислот отличается. В состав РНК входит урацил (У), в состав же ДНК входит сходное с (У) основание тимин (Т);
- молекулы РНК одноцепочечные, а у ДНК – духцепочечные. Но молекула РНК может образовывать петли. Такие участки ее структуры напоминают двухцепочечные, так как часть оснований на одной ветви петли соединяется водородными связями с основаниями на другой ее же ветви.

РНК синтезируется на матрице ДНК. Этот процесс называется транскрипция (переписывание). При этом часть двойной спирали ДНК раскручивается, и вдоль одной из ее цепей движется особый фермент, который выстраивает нуклеотидные мономеры РНК против их партнеров на цепи ДНК и соединяет эти мономеры друг с другом с образованием длинной цепи РНК. Правила спаривания оснований соблюдаются и в этом случае, т.е гуанин спаривается с цитозином, а тимин ДНК спаривается с аденином РНК. Урацил РНК спаривается с аденином ДНК. На матрице ДНК образуются три типа РНК:

- матричная (мРНК), в которой передается генетическая инструкция по синтезу полипептидов от ДНК к белоксинтезирующему аппарату – рибосомам;
- транспортная (тРНК), которая доставляет к рибосомам аминокислоты, из которых строится полипептидная цепь. Причем, каждую аминокислоту переносит особый, именно для нее предназначенный вид тРНК.
- рибосомная (рРНК), являющаяся главным компонентом рибосом.

В клеточной ДНК имеются гены, ответственные за синтез всех трех типов РНК, но только гены матричной РНК содержат информацию по синтезу белков (рис. 4.2).

Молекула мРНК образуется в результате транскрипции одного из генов, так, что в ней содержится та же информация по синтезу полипептида, что и в этом гене. Процесс, с помощью

которого генетическая информация мРНК превращается в структуру полипептида, называют трансляцией (переводом).

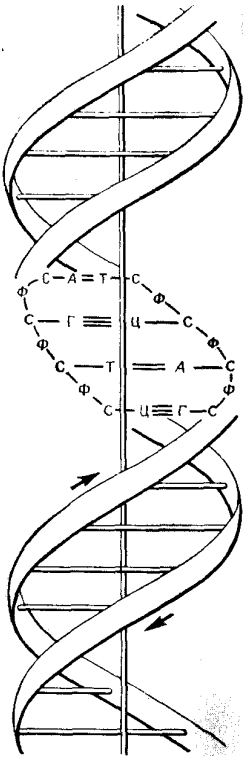


Рис.4.2. Схема строения важнейшего биополимера дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). Молекула ДНК представляет собой двойную спираль; буквами обозначены входящие в нее нуклеотиды.

За исследования ДНК и РНК в 1952 году Дж. Бидл, Э. Тейтум и Дж. Ледерберг были удостоены Нобелевской премии.

Затем была установлена тонкая структура генов (1950 год, С. Бензер), молекулярный механизм функционирования генетического кода, был понят язык, на котором записана генетическая информация (азотистые основания: аденин (А), тимин (Т), цитозин (Ц), гуанин (Г), пятиатомный сахар и остаток фосфорной

кислоты. При этом А всегда соединяется с Т другой цепи ДНК, которая представляет собой две нити, скрученные в спираль, а Г – с Ц). Расшифрован механизм репликации (передачи наследственной информации) ДНК. Известно, что последовательность оснований в одной нити в точности предопределяет последовательность оснований в другой (принцип комплиментарности), выполняя функцию своеобразной матрицы. При размножении две спирали старой молекулы ДНК расходятся, и каждая становится матрицей для воспроизводства новых цепей ДНК. Каждая из двух дочерних молекул обязательно включает в себя одну старую полинуклеотидную цепь и одну новую. Удвоение молекул ДНК происходит с удивительной точностью, чему способствует двухцепочное строение молекулы – новая молекула абсолютно идентична старой. В этом заключается глубокий смысл, потому что нарушение структуры ДНК, приводящее к искажению генетического кода, сделало бы невозможным сохранение и передачу генетической информации, обеспечивающей развитие присущих организму признаков. Спусковым механизмом репликации является наличие особого фермента – ДНК-полимеразы.

Рассмотрев генетические механизмы наследственности, необходимо перейти к генетическим закономерностям изменчивости, являющейся основой для естественного отбора и эволюции организмов.

Изменчивостью называют способность живых организмов приобретать новые признаки и свойства, она отражает взаимосвязь организма с внешней средой. Различают наследственную, или генетическую, изменчивость, и ненаследственную, или модификационную, изменчивость.

Пределы модификационной изменчивости называют нормой реакции; они обусловлены генотипом. Эта изменчивость зависит от конкретных условий среды, в которой находится отдельный организм и дает возможность приспособиться к этим условиям (в пределах нормы реакции). Такие изменения не наследуются.

Открытие способности генов к перестройке, изменению является крупнейшим открытием современной генетики. Эта способность к наследственной изменчивости получила в генетике название *мутации* (от лат. mutatio – изменение). Она возникает вследствие изменения гена или хромосом и служит единст-

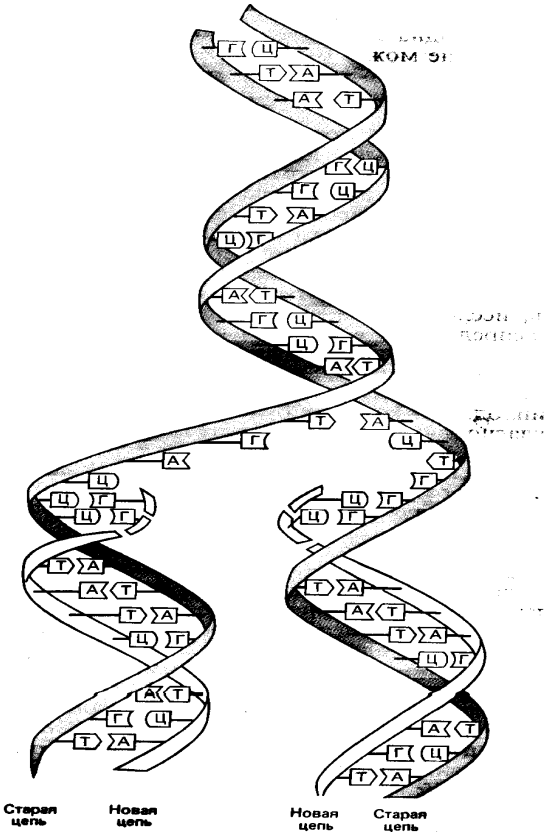


Рис. 4.4. Схема репликации молекул ДНК

венным источником генетического разнообразия внутри вида. Причиной мутации служат различные физические (космические лучи, радиоактивность и т.д.) и химические (разнообразные токсические соединение) причины – *мутагены*. Благодаря постоянному мутационному процессу возникают различные варианты генов, составляющие резерв наследственной изменчивости. Большая часть мутаций по характеру рецессивна и не проявляется у гетерозигот. Это очень важно для существования вида. Ведь мутации оказываются, как правило, вредными, поскольку вносят нарушения в тонко сбалансированную систему биохимических превращений. Обладатели вредных доминантных мута-

ций, сразу же проявляющихся в гомо- и гетерозиготном организмах, часто оказываются нежизнеспособными и погибают на самых ранних этапах жизни.

Но при изменении условий внешней среды, в новой обстановке, некоторые ранее вредные рецессивные мутации, составляющие резерв наследственной изменчивости, могут оказаться полезными, и носители таких мутаций получают преимущество в процессе естественного отбора.

Изменчивость может быть обусловлена не только мутациями, но и сочетаниями отдельных генов и хромосом, например, при половом размножении – генетическая рекомбинация. Рекомбинация также может происходить за счет включения в геном клетки новых, привнесенных извне, генетических элементов – мигрирующих генетических элементов. В последнее время было установлено, что даже само их внедрение в клетку дает мощный толчок к множественным мутациям.

Генетический код

Белки выполняют в организме множество функций: они катализируют биохимические реакции, осуществляют все виды клеточных движений, создают различные компоненты клеточных органелл, иными словами, от них зависит вся жизнедеятельность организма. Насколько эффективно работает тот или иной белок, зависит от его структуры, сама же структура, в конечном счете, определяется последовательностью аминокислот в его полипептидных цепях. Напомним, что молекулы некоторых белков состоят из более чем одной полипептидной цепи; молекула гемоглобина, например, состоит их четырех полипептидных цепей. Сначала синтезируются отдельные полипептиды, а затем происходит сборка полипептидов в белок.

Биохимики пришли к заключению, что генетическая информация должна – прямо или косвенно – определять последовательность аминокислот в полипептидах, а тем самым и их структуру. Поскольку ДНК и полипептиды представляют собой линейные (неразветвленные) молекулы, естественно напрашивается мысль, что порядок нуклеотидов в ДНК определяет порядок аминокислот в полипептидах (табл. 4.3).

Таблица 4.3

Возможные сочетания по два при четырехбуквенном коде

Четыре буквы кода
А
Ц
Г
У
16 сочетаний из четырех букв по две
АА АЦ АГ АУ
ЦА ЦЦ ЦГ ЦУ
ГА ГЦ ГГ ГУ
УА УЦ УГ УУ

Но каким же образом аминокислотная последовательность полипептида закодирована в структуре молекулы ДНК? В ДНК четыре вида нуклеотидов, и, значит, «алфавит» генетического кода состоит, очевидно, из четырех букв. Поскольку в белках встречается 20 различных аминокислот, ясно, что каждая не может определяться только одной такой буквой, ибо в этом случае 16 «лишних» аминокислот вообще не имели бы шансов попасть в белок. Не могут «слова» генетического языка определяться и двумя буквами, потому что из четырех букв могут состоять не более 16 пар, что все еще слишком мало. Число же различных сочетаний по три (триплетов) из четырех букв равно 64, а этого уже хватает с избытком. Наименьшая возможная длина «слова», определяющего ту или иную аминокислоту в «генетическом языке», - это три нуклеотида.

К началу 60-х годов накопилось уже довольно много данных в пользу триплетности генетического кода. Неизвестно было, однако, какой триплет кодирует каждую конкретную аминокислоту. Биохимикам удалось разработать методику приготовления искусственных РНК с известной последовательностью нуклеотидов. Когда эти искусственные РНК вводили в растворы, содержащие рибосомы, аминокислоты, транспортные РНК и прочие вещества, необходимые для белкового синтеза, они направляли синтез полипептидов.

В 1961 г. ученые обнаружили, что в присутствии искусственной РНК, содержащей одни только урациловые нуклеотиды, синтезируется полипептидная цепь, состоящая из остатков одной-единственной аминокислоты, а именно, из фенилаланина.

Таблица 4.4

Кодоны информационной ДНК[1)]

Первое основание	Второе основание								Третье основание
	У		Ц		А		Г		
У	УУУ	Фен	УЦУ	Сер	УАУ	Тир	УГУ	Цис	У
	УУЦ	Фен	УЦЦ	Сер	УАЦ	Тир	УГЦ	Цис	Ц
	УУА	Лей	УЦА	Сер	УАА	Стоп	УГА	Стоп	А
	УУГ	Лей	УЦГ	Сер	УАГ	Стоп	УГГ	Три	Г
Ц	ЦУУ	Лей	ЦЦУ	Про	ЦАУ	Гис	ЦГУ	Арг	У
	ЦУЦ	Лей	ЦЦЦ	Про	ЦАЦ	Гис	ЦГЦ	Арг	Ц
	ЦУА	Лей	ЦЦА	Про	ЦАА	Глн	ЦГА	Арг	А
	ЦУГ	Лей	ЦЦГ	Про	ЦАГ	Глн	ЦГГ	Арг	Г
А	АУУ	Иле	АЦУ	Тре	ААУ	Асн	АГУ	Сер	У
	АУЦ	Иле	АЦЦ	Тре	ААЦ	Асн	АГЦ	Сер	Ц
	АУА	Иле	АЦА	Тре	ААА	Лиз	АГА	Арг	А
	АУГ	Мет	АЦГ	Тре	ААГ	Лиз	АГГ	Арг	Г
Г	ГУУ	Вал	ГЦУ	Ала	ГАУ	Асп	ГГУ	Гли	У
	ГУЦ	Вал	ГЦЦ	Ала	ГАЦ	Асп	ГГЦ	Гли	Ц
	ГУА	Вал	ГЦА	Ала	ГАА	Глу	ГГА	Гли	А
	ГУГ	Вал	ГЦГ	Ала	ГАГ	Глу	ГГГ	Гли	Г

[1)] Чтобы найти аминокислоту, определяемую данным кодоном, начните со строки, относящейся к первому основанию кодона (слева), и двигайтесь вдоль этой строки до столбца, расположенного под вторым основанием кодона. Здесь найдите третье основание кодона – в крайнем правом столбце. Три стоп-кодона отмечают положение, в котором рибосома прекращает считывание мРНК и обрывает синтез полипептидной цепи. Кодон АУГ служит сигналом для начала синтеза полипептида.

Для аминокислот приняты следующие сокращения: Ала – аланин; Арг – аргинин; Асн – аспаргин; Асп –т аспаргиновая кислота; Вал – валин; Гис – гистидин; Гли – глицин; Глн – глутамин; Глу – глутаминовая кислота; Иле – изолейцин; Лей – лейцин; Лиз – лизин; Мет – метеонин; Про – пролин; Сер – серин; Тир – тирозин; Тре – треонин; Три – триптофан; Фен – фенилаланин; Цис – цистеин.

Стало ясно, что кодовому «слову» УУУ в РНК соответствует аминокислота фенилаланин. В ДНК кодов для нее должен быть комплиментарный триплет нуклеотидов, т.е. ААА. Труднее было выявить аминокислоты, кодируемые триплетами, состоящими из разных букв; однако уже к 1965 г. был расшифрован весь генетический код.

Кодовые «слова», или *кодоны*, которые несет в себе матричная РНК, показаны в табл. 4.4. Обратите внимание, что 3 из 64 триплетов не кодируют никаких аминокислот: УАА, УАГ и УГА – это стоп-сигналы, обрывающие синтез полипептидной цепи. Число кодонов для аминокислот равно, таким образом, 61. Поскольку многие аминокислоты кодируются более чем одним кодоном, код является *вырожденным*.

Перемещаясь вдоль молекулы матричной РНК и считывая по три ее нуклеотида, можно получить кодоны, которые будут транслироваться в определенную аминокислотную последовательность. Это означает, что слова в генетическом коде для полипептидной цепи не перекрываются. Если бы код был перекрывающимся, т.е. второе слово начиналось со второй или третьей буквы первого слова и т.д., то его возможности были бы очень ограничены.

Известно также, что слова в генетическом коде стоят непосредственно друг за другом, без пробелов, которые означали бы начало и конец кодона. Закодированное сообщение должно считываться, следовательно, с какой-то определенной начальной точки, иначе вся последовательность будет прочитана неверно. Допустим, что в РНК мы имеем последовательность **УЦУАГАГЦУА**, которая, если прочитать ее слева направо, будет кодировать аминокислотную последовательность **сер-арг-ала**. Если, однако, мы начнем ее читать не с начала, а со второго нуклеотида (Ц), то получится совершенно иная аминокислотная последовательность **лей-глу-лей**.

Из сказанного выше видно, что мутация в ДНК гена может изменить и кодируемый этим геном белок. Мутация может выразиться в добавлении, утрате, перестройке или изменении одного или нескольких нуклеотидов в ДНК. Знакомясь с генетическим кодом по табл. 4.4, нетрудно заметить, что изменение третьего нуклеотида кодона часто остается без последствий: в полипептидную цепь включается та же самая аминокислота. Однако изменение первого или второго нуклеотида чаще всего приводит к

тому, что на определенное место в полипептидной цепи включается уже иная кислота, тогда как прочие аминокислоты в этом полипептиде остаются неизменными. Добавление или утрата одного из нуклеотидов может иметь катастрофические последствия, потому что вызовет сдвиг рамки считывания, а значит, и изменение всех аминокислот от места, затронутого мутацией, до самого конца полипептидной цепи. Мутации бесконечно разнообразны, и столь же разнообразно их влияние на кодируемый данным геном белок: от полного отсутствия изменений до изменений столь серьезных, что клетка уже не может синтезировать функциональный белок.

У эукариот между генами многих полипептидов вставлены участки ДНК, не содержащие информации ни для какого полипептида. Смысл такого странного расположения еще не ясен. При транскрипции, т.е. во время синтеза мРНК, участки некодирующейся ДНК тоже транскрибируются, но потом они удаляются из мРНК еще до трансляции (т.е. до ее перевода в полипептид).

Встречается и другая крайность: у некоторых вирусов, а возможно и у некоторых бактерий есть перекрывающиеся гены, имеющие общие участки ДНК. Это, по-видимому, приспособление, позволяющее сэкономить место, что особенно важно для таких крошечных существ. Конец одного гена сможет совпадать с началом другого, или один ген может заключать в себе еще какой-либо второй ген. У одного вируса обнаружено перекрывание генов, при котором два гена начинаются в одной и той же точке. Первый ген заканчивается у стоп-кодона, но белоксинтезирующий аппарат иногда перескакивает через этот стоп-сигнал и продолжает синтезировать белок вдоль матричной РНК до тех пор, пока не дойдет до второго стоп-сигнала. Вирусу нужны оба белка, как короткий, так и длинный.

Контрольные вопросы и задания

1. На какие классы делят клетки по характеру функционирования?
2. Назовите онтогенетические уровни организации живых систем.
3. Охарактеризуйте уровни организации живых систем.
4. Какие гипотезы существуют по поводу происхождения эукариотных клеток?
6. Назовите главные типы питания организмов.
7. Кто ввел термин «популяция»?
8. Какой смысл имеет термин «популяция»?
9. Как называется четвертый надорганизменный уровень?
10. Почему вопрос о происхождении жизни на Земле является одним из самых сложных?
11. Назовите имена ученых, которые разрабатывали вопрос о происхождении жизни.
12. Назовите условия, которые необходимы для возникновения жизни.
13. Какое количество аминокислот необходимо для построения белков?
14. Почему Земля оказалась пригодной для возникновения жизни?
15. Какую роль в возникновении жизни сыграла химическая эволюция?
16. Какая стадия предшествовала возникновению первых организмов?
17. Какие организмы были первыми на Земле?
18. Что называется фотосинтезом?
19. Какие организмы осуществляют фотосинтез?
20. Какова была первичная атмосфера на Земле до появления фотосинтеза?
21. Какое значение для жизни имело появление в атмосфере кислорода?
22. Приведите теории, описывающие происхождение жизни на Земле.
23. Как возникла жизнь с точки зрения креационизма?
24. Почему теория креационизма существует и в наше время?
25. В чем сущность теории биохимической эволюции?
26. Какие экспериментальные факты могут служить подтверждением теории биохимической эволюции?

27. Какова природа самых первых организмов?
28. В чем суть теорий эволюции Ламарка и Дарвина?
29. Каковы современные взгляды на теорию эволюции?
30. Приведите имена ученых, занимавшихся проблемами эво
    люции, наследственности, генетики.
31. Какова суть естественного отбора?
32. Что называется геном?
33. Сформулируйте законы Менделя.
34. Какова роль ДНК в живом организме?
35. Что называется изменчивостью?
36. Какова роль мутаций в наследственной изменчивости?
37. Каковы основные течения антидарвинизма?
38. Какова роль РНК в живом организме?
39. Каким образом кодируется последовательность аминокислот
    в структуре ДНК?
40. Чем обусловлена изменчивость организмов?

Глава 4

Эволюция – история жизни

Природа жизни, ее происхождение, разнообразие живых существ и объединяющая их структурная и функциональная близость занимают одно из центральных мест в биологической проблематике.

В этой главе мы попытаемся изложить и обсудить различные теории возникновения жизни и возможные способы видообразования. В изучении истории жизни всегда проявлялась склонность к доктринерству. Доктринерство можно определить как сознательные попытки внедрения слепой приверженности к какому-либо убеждению или учению. Подобный подход не только далек от научного, но и интеллектуально нечестен, и мы постараемся избегать его в этой книге. В настоящей главе будут кратко изложены наиболее распространенные теории происхождения жизни, чтобы отразить представление о различии разных точек зрения на характер этого события. Большая часть соображений, на которых основываются эти теории, умозрительны, так как воспроизвести в сколько-нибудь наглядном виде события, происходившие при возникновении жизни, невозможно. Это относится как к научным, так и к теологическим построениям. Однако одна теория – теория эволюции – все больше и больше воспринимается не как некая отдельная метафизическая теория, а как совокупность ряда научных гипотез, каждая из которых поддается проверке.

В этой главе изложены научные данные, отобранные так, чтобы создать связную картину процессов, лежащих в основе происхождения живых организмов и их разнообразия. Ввиду неизбежности такого отбора, картина не может быть абсолютно объективной, как, впрочем, и при изложении любой другой проблемы, относится ли она к истории или к естественным наукам. Однако, подчеркивая ограничения, присущие фактическим данным и принимаемым допущениям, автор старался придать представленной здесь картине ту степень объективности и гипотетичности, которая должна быть свойственна доброкачественному научному обзору. Следует особо отметить, что собранные в этой главе данные и выведенные из них заключения соответст-

вуют сегодняшним взглядам: эти взгляды постоянно пересматриваются, и их достоверность ограничена уровнем наших знаний на настоящий момент.

Придерживаясь принципов системного подхода, будем рассматривать огромное разнообразие форм и явлений живой природы также с точки зрения уровня определяющих их биологических структур. Хотя подобное изучение и не следует тому историческому пути, каким развивалась биология, но оно даст возможность теоретически представить, как могли возникнуть первые живые системы на Земле и как происходил процесс эволюции от простейших и менее организованных систем к системам более сложным и высокоорганизованным. Исторически биология развивалась как описательная наука о многообразных формах и видах растительного и животного царства. Поэтому важнейшее место в ней заняли методы анализа, систематизации и классификации огромного эмпирического материала, накопленного натуралистами.

Биология – это наука о живой природе. Но дать точное определение жизни очень трудно, несмотря на то, что живые организмы обладают рядом признаков, которые отсутствуют у большинства неживых систем. Однако среди этих признаков нет ни одного такого, который был однозначно приписан только живому. Видимо, лучшим способом описания живого может явиться перечисление свойств живых организмов.

1. Живые организмы характеризуются высокоупорядоченным строением. Химические вещества, из которых построены живые организмы, гораздо сложнее и достигают более высокого уровня организации, чем вещества составляющие неживые организмы. Химическая организация отражается в упорядоченности структуры и функций любого организма.
2. Живые организмы получают энергию и используют ее на поддержание и усиление своей высокой упорядоченности из окружающей среды. Большая часть организмов прямо или косвенно используют солнечную энергию. Так, зеленые растения используют солнечную энергию для синтеза питательных веществ, которые потребляются как самими растениями, так и другими организмами, живущими на Земле. Все организмы используют энергию, содержащуюся в пище, для поддержания своего существования, роста и размножения.

3. Живые организмы активно реагируют на окружающую среду. Если толкнуть камень, то он пассивно сдвинется с места. Животное же реагирует очень активно. Оно или убегает, или приближается, свертывается в клубок, оскаливается и т.д. Растение реагирует медленнее, но не менее активно. Стебель и листья поворачиваются к свету, корни растут вниз и т.д. Способность реагировать на внешние воздействия – это универсальное свойство всех живых существ.
4. Живые существа развиваются. Все изменяется с течением времени, но особенно сложным и упорядоченным образом изменяются живые организмы. Их изменение мы называем развитием. Так, у растения развиваются новые ветви, у животного - новые органы, отличающиеся по составу и по структуре от породивших их структур или химических веществ.
5. Все живое размножается. Новые живые организмы (бактерии, растения, животные, грибы и т.д.) возникают только в результате размножения других таких же организмов.
6. Информация, необходимая каждому организму для выживания, размножения и развития расщепляется в нем и передается от каждого индивидуума его потомкам. Эта информация содержится в генетическом материале (хромосомах и генах) организма. Генетический материал определяет возможные пределы развития организма, его структур, функций, реакций на окружающую среду. Этот материал передается потомкам данного организма. Поэтому потомки похожи на своих родителей. Но генетическая информация все же несколько изменяется, так что родители и потомки обычно бывают сходны, но не идентичны.
7. Живые организмы адаптированы к своей среде. Все живые организмы и их органы хорошо соответствуют своему образу жизни. Достаточно ознакомиться со строением рыбы, лягушки или дождевого червя, чтобы в общих чертах представить себе, как они живут. Особенности строения, функций и поведения данного организма, соответствующие его образу жизни, называются адаптациями.

Номенклатура и классификация организмов

Система классификации живых организмов, которой мы пользуемся, была создана в XVIII в. шведским ученым К. Линнеем. Он присвоил каждому виду организмов биноминальное название, т.е. название, состоящее из двух слов. Далее он разделил разные виды организмов по все более крупным и широким категориям. Система классификации Линнея была основана на сходстве строения, то есть на объединении в одну группу форм, сходных друг с другом. Например, деревья с похожими листьями и корой. Затем биологи поняли, что организмы, по всей вероятности, происходят от одной или нескольких ранних форм жизни. Поэтому представлялось более естественным классифицировать организмы на основе их эволюционного родства. Но при этом большое значение придается сходству строения как свидетельству о родственных связях. Поэтому многие группы, выделяемые по старой и новой системам, совпадают.

Основной единицей классификации служит вид – группа организмов, связанных достаточно близким родством, чтобы скрещиваться между собой. Каждый вид относится к тому или иному роду, который может содержать также и другие виды, сходные с данным. Роды объединяются в семейства, а семейства – в отряды и т.д. каждая последующая группа более высокого ранга содержит большее число видов, связанных более отдаленным родством. Пример положения одного из представителей царства животных и царства растений представлен в таблице 4.1.

Таблица 4.1

	Человек	Рудбекия
Царство	Animalia	Plantae
Тип	Chordata	Tracheophyta
Класс	Mammalia	Angiospermae
Отряд (порядок)	Primates	Asterates
Семейство	Homminidae	Compositae
Род	Homo	Rudbeckia
Вид	sapiens	hirta

Упоминая о том или ином виде, следует указывать его родовое или видовое названия, например Homo sapiens, Rudbeckia hirta. Это связано с тем, что видовое название часто бывает банальным (hirta просто означает “опущенная”), а многие организмы

могут иметь одинаковые видовые названия: Hepatica americana – печеночница американская, Erythronium americanum – кандык американский и т.д.

Присваивая названия организмам, необходимо соблюдать определенные правила, иначе разные лица могут пользоваться различными названиями для одного и того растения или животного или одно и тоже название будет применяться к разным организмам в разных странах. Это регулируется международными комиссиями по номенклатуре: одной для растений, другой – для животных, третьей – для бактерий. Научные названия даются по-латыни.

Первые классификации растений, наиболее известной из которых была система К. Линнея (1707–1778), а также классификация животных Ж. Бюффона (1707–1788), носили в значительной степени искусственный характер, поскольку не учитывали происхождения и развития живых организмов. Тем не менее, они способствовали объединению всего известного биологического знания, его анализу и исследованию причин и факторов происхождения и эволюции живых систем. Без такого исследования невозможно было бы, во-первых, перейти на новый уровень познания, когда объектами изучения биологов стали живые структуры сначала на клеточном, а затем на молекулярном уровне.

Во-вторых, обобщение и систематизация знаний об отдельных видах и родах растений и животных требовали перехода от искусственных классификаций к естественным, где основой должен стать принцип генезиса, происхождения новых видов, а следовательно, разработка теории эволюции. Такие попытки создания естественной классификации, опирающиеся на весьма несовершенные еще принципы эволюции, предпринимались Ж.Б. Ламарком (1744–1829) и Э.Ж. Сент-Илером (1772–1844). Не подлежит сомнению, что они послужили важной вехой на пути создания первой научной теории эволюции видов растений и животных Ч. Дарвиным.

В-третьих, именно описательная, эмпирическая биология послужила тем фундаментом, на основе которого сформировался целостный взгляд на многообразный, но в то же время единый мир живых систем. Можно даже сказать, что первые представления о системах и уровнях их организации были заимствованы из опыта изучения живой природы, и даже сейчас мы часто обращаемся именно к живым системам. Ведь прежде чем

объяснить функционирование отдельных частей или элементов живых организмов, мы должны понять жизнедеятельность единого, целостного организма, а такое понимание первоначально достигается именно на описательном, эмпирическом уровне. Дальнейший теоретический шаг в понимании неизбежно связан с анализом непосредственно данной живой системы, ее расчленением на отдельные подсистемы и элементы, изучением структуры системы, выявлением различных структурных уровней организации живых систем.

Биологическая эволюция представляет собой необходимые предпосылки для возникновения общества, не говоря уже о том, что многие наши интуитивные представления об эволюции вообще заимствованы из существовавших в разное время биологических знаний. Поэтому нам особенно важно познакомиться с ними, во-первых, для того, чтобы выявить в дальнейшем специфику социальных процессов, а, во-вторых, показать ошибочность *редукционистских* и *социал-дарвинистских* взглядов на общество.

Собственно биологической эволюции предшествовала длительная *предбиотическая эволюция,* связанная с переходом от неорганической материи к органической, а затем к элементарным формам жизни. Началом предбиотической эволюции было постепенное возникновение органических молекул из неорганических. Предполагают, что по мере охлаждения Земли появились все условия для протекания этого процесса. Быть может, недоставало лишь высокой температуры для химического синтеза, но такую температуру могло вызвать воздействие ультрафиолетовых лучей или электрических разрядов. Такая возможность действительно была доказана экспериментально, а поэтому сама гипотеза представляется достаточно обоснованной. Но ранее существовавшие гипотезы, защищая автономность элементарной системы жизни, слишком изолировались от взаимодействия с окружающей средой. Даже гипотеза А.И. Опарина (1894–1980), хотя и постулировала процесс возникновения биополимеров из мономеров, все же недостаточно подчеркивала роль среды в дальнейшей эволюции жизни.

Парадигма самоорганизации может способствовать лучшему пониманию процессов происхождения жизни и ее дальнейшей эволюции. Действительно, с ее помощью можно более адекватно объяснить, каким образом из неорганических молекул возник-

ли органические, а из последних – первые живые клетки. Согласно гипотезе немецкого физикохимика М. Эйгена (р. 1927), процесс возникновения живых клеток тесно связан с взаимодействием нуклеотидов, являющихся носителями информации, и протеинов (полипептидов), служащих катализаторами химических реакций. В процессе взаимодействия нуклеотиды под влиянием протеинов воспроизводят себя и в свою очередь передают информацию следующему за ним протеину, так что в результате возникает замкнутая автокаталитическая цепь, которую М. Эйген называет *гиперциклом.* В ходе дальнейшей эволюции из них возникают первые живые клетки, сначала без ядер, называемые прокариотами, а затем с ядрами – эукариоты.

На предбиотической стадии эволюции до возникновения первых клеток, как показывают современные исследования, существовали материальные системы, обладавшие способностью к самовоспроизведению, метаболизму и развитию через мутации и конкуренцию с другими системами для отбора. Эти фундаментальные свойства, характеризующие жизнь, возникли из самоорганизации структур.

В ходе эволюции принцип автокатализа, или самоускорения химических реакций, дополняется принципом самовоспроизведения целого циклически организованного процесса в гиперциклах, предложенных М. Эйгеном. Воспроизведение компонентов гиперциклов, как и их объединение в новые гиперциклы, сопровождается быстрорастущим метаболизмом, связанным с синтезом богатых энергией молекул и выведением, как отбросов, молекул, бедных энергией. Примечательно, что вирусы, лишенные способности к метаболизму, внедряются в клеточные организмы и начинают пользоваться их метаболической структурой. Особо следует отметить, что в ходе самоорганизации постоянно возникают *мутации,* а с ними неизбежно связан отбор.

Парадигма самоорганизации позволяет установить связь между неживым и живым в ходе эволюции, так что возникновение жизни представляется отнюдь не чисто случайной и крайне маловероятной комбинацией условий и предпосылок для ее появления, как заявляли некоторые авторитетные биологи. Если самоорганизация при наличии соответствующих условий может возникнуть в самом фундаменте здания материи, то вполне обоснованно предположить, что на более высоких уровнях организации она может закономерно привести к возникновению жиз-

ни во Вселенной. Нельзя также не отметить, что жизнь сама готовит условия для своей дальнейшей эволюции. Предполагают, что первыми стали осваивать Землю растения, которые появились примерно 500 миллионов лет назад. Такое предположение представляется достаточно обоснованным, так как именно растения способны к фотосинтезу и, следовательно, в состоянии накапливать энергию и отдавать свободный кислород в атмосферу. Примерно через 50 миллионов лет после растений появились первые животные – гетеротрофы, которые стали использовать растения в качестве пищи. В результате дальнейшей эволюции из этих основных царств живых систем возникло огромное разнообразие форм и видов растений и животных, которые, постепенно приспосабливаясь к окружающей среде, усложняли свою структуру и функции и влияли также на свою среду, главным образом через те экосистемы, в которые они входили.

Молекулярно-генетический уровень

Представление о структурных уровнях организации живых систем сформировалось под влиянием клеточной теории строения живых тел. В середине прошлого века клетка рассматривалась как последняя единица живой материи, наподобие атома неорганических тел. Из клеток, благодаря принципу упорядоченности, мыслились построенными все живые системы различного уровня организованности. Такие идеи высказывал один из создателей клеточной теории М. Шлейден (1804–1881). Другой выдающийся биолог Э. Геккель (1834–1919) пошел дальше и выдвинул гипотезу, согласно которой протоплазма клетки также обладает определенной структурой и состоит из субмикроскопических частей.

Таким образом, в живой системе можно выделить новый структурный уровень организации. Эти идеи, далеко опережающие научные знания своей эпохи, встречали явное сопротивление, с одной стороны, последователей редукционизма, стремившихся свести процессы жизнедеятельности к совокупности определенных химических реакций, с другой – защитников витализма, которые пытались объяснить специфику живых организмов наличием в них особой «жизненной силы». Идеи редукционистов находили поддержку со стороны представителей механистического и «вульгарного» материализма, первые из которых

пытались объяснить закономерности живой природы с помощью простейших механических и физических понятий и принципов, вторые же стремились редуцировать, свести эти законы к закономерностям химических реакций, происходящих в организме. Более того, некоторые представители «вульгарных» материалистов даже утверждали, что мозг порождает мысль подобно тому, как печень выделяет желчь.

Несмотря на эти философские дискуссии между механицистами и виталистами, ученые-экспериментаторы пытались конкретно выяснить, от каких именно структур зависят специфические свойства живых организмов, поэтому продолжали исследовать их на уровне не только клетки, но также и клеточных структур. В первую очередь исследовали структуру белков и выяснили, что они построены из 20 аминокислот, которые соединены длинными полипептидными связями, или цепями. Хотя в состав белков человеческого организма входят все 20 аминокислот, но совершенно обязательны для него только 9 из них. Остальные, по-видимому, вырабатываются самим организмом. Характерная особенность аминокислот, содержащихся не только в человеческом организме, но и в других живых системах, состоит в том, что все они являются левовращающими плоскость поляризации изомерами, хотя в принципе существуют аминокислоты и правого вращения. Обе формы таких изомеров почти одинаковы между собой и различаются только пространственной конфигурацией, и поэтому каждая из молекул аминокислот является зеркальным отображением другой. Впервые это явление открыл выдающийся французский ученый Л. Пастер (1822–1895), исследуя строение веществ биологического происхождения. Он обнаружил, что такие вещества способны отклонять поляризованный луч и поэтому являются оптически активными, вследствие чего они были впоследствии названы оптическими изомерами. В отличие от этого, у молекул неорганических веществ эта способность отсутствует, и они построены симметрично. На основе своих опытов Л. Пастер высказал мысль, что важнейшим свойством всей живой материи является их молекулярная асимметричность, подобная асимметричности левой и правой рук. Опираясь на эту аналогию, в современной науке это свойство называют молекулярной хиральностью (от греч. cheir – рука). Интересно заметить, что если бы человек вдруг превратился в свое зеркальное отображение, то его организм функционировал бы нормально до тех пор, пока он не стал бы употреблять пищу

растительного или животного происхождения, которую он не смог бы переварить.

На вопрос, почему именно живая природа выбрала белковые молекулы, построенные из аминокислот левого вращения, до сих пор нет убедительного ответа. Сам Л. Пастер считал, что поскольку живое возникает из неживого, то необходимым предварительным условием для этого процесса должно стать превращение симметричных неорганических молекул в асимметричные. По его предположению, такое превращение могло быть вызвано различными космическими факторами, в частности, геомагнитными колебаниями, вращением Земли, электрическими разрядами и т.п. Попытки экспериментально проверить эту гипотезу не увенчались успехом. Поэтому высказывались предположения и о чисто случайном характере возникновения первых живых молекулярных систем, образованных из аминокислот левого вращения. В дальнейшем эта особенность могла быть передана по наследству и закрепиться как неотъемлемые свойства живого организма.

Наряду с изучением структуры белка в последние полвека особенно интенсивно изучались механизмы наследственности и воспроизводства живых систем. Особенно остро этот вопрос встал перед биологами в связи с определением границы между живым и неживым. Большие споры возникли вокруг природы вирусов, которые обладают способностью к самовоспроизводству, но не в состоянии осуществлять процессы, которые мы обычно приписываем живым системам: обмен веществ, реакцию на внешние раздражители, рост и т.п. Очевидно, если считать определяющим свойством живого организма обмен веществ, то вирусы нельзя назвать живыми организмами, но если таким свойством считать воспроизводимость, то их следует отнести к живым телам. Так естественно возникает вопрос: какие свойства или признаки характерны для живых систем? На этот вопрос ученые отвечали по-разному в различные исторические этапы развития естествознания в зависимости от достигнутого уровня исследований. Пока не существовало развитых методов биологического исследования и сколь-нибудь ясных теоретических концепций, сущность живого сводили к наличию некоей таинственной «жизненной силы», которая отличает живое от неживого. Однако такое определение оставалось чисто отрицательным, так как не раскрывало ни подлинной причины, ни механизма отличия живого от неживого, а все сводило к иррациональной,

непознаваемой и потому таинственной способности живых организмов. На этом основании сторонников такого взгляда называли «виталистами». Если первые виталисты ограничивались простой констатацией различия между живым и неживым, то их последователи использовали недостатки и ограниченность физико-химических представлений о жизни для подкрепления своей позиции. Наиболее интересной в этом отношении представляется попытка немецкого биолога и философа Х. Дриша (1867–1941), который возродил существовавшее еще у Аристотеля понятие энтелехии для объяснения целесообразности живых систем. Основываясь на своих опытах по регенерации морских ежей, которые восстанавливают удаленные у них части тел, Дриш утверждал, что все живые организмы обладают особой способностью к целесообразным действиям по сохранению и поддержанию своей организации и жизнедеятельности, которую он назвал энтелехией. По сути дела энтелехия ничем не отличается от отличается от «жизненной силы» виталистов, хотя в духе своего времени (XX в.) Х. Дриш вводит градации и различные ее степени для разных живых организмов. На упреки, что энтелехию невозможно установить никакими эмпирическими методами, он отвечал, что магнитную силу также нельзя увидеть непосредственно. На этом примере можно убедиться, что современные виталисты используют понятия о ненаблюдаемых объектах (магнетизм, электричество и т.д.) для защиты своих взглядов. Несмотря на критику виталистов, биологи-экспериментаторы продолжали свою трудную и кропотливую работу по анализу структуры и функций живых систем. Как изменились наши представления о живых системах в связи с переходом на новый, молекулярный уровень исследования?

Долгое время в связи с изучением синтеза неорганических веществ внимание ученых было сосредоточено на исследовании той части клеточной структуры, которая образована из белков. Многим казалось, что именно белки составляют фундаментальную основу жизни, и поэтому пытались свести свойства живых систем к свойствам и структуре белков. По-видимому, именно опираясь на это, Ф. Энгельс (1820–1895) выдвинул свое известное определение жизни как способа существования белковых тел, которое продолжали некритически повторять в нашей литературе, несмотря на глубокие исследования, выяснившие, что ни сам белок, ни его составные элементы не представляют ничего уникального в химическом отношении. В связи с этим дальней-

шие исследования были направлены на изучение механизмов воспроизводства и наследственности в надежде обнаружить в них то специфическое, что отличает живое от неживого. Наиболее важным открытием на этом пути было выделение из состава клетки богатого фосфором вещества, обладающего свойствами кислоты и названного впоследствии нуклеиновой кислотой. В дальнейшем удалось выявить углеводный компонент этих кислот, в одном из которых оказалась D-дезоксирибоза, а в другом – D-рибоза. Соответственно этому, первый тип кислот стали называть дезоксирибонуклеиновыми кислотами (сокращенно – ДНК), а второй тип – рибонуклеиновыми (или кратко – РНК) кислотами. Потребовалось, однако, почти сто лет, прежде чем была расшифрована роль нуклеиновых кислот в хранении и передаче наследственности, участии в синтезе белка и обмене веществ.

Не вдаваясь в детали, кратко рассмотрим эти важнейшие для биологии и естествознания вопросы. Роль ДНК была выяснена после того, как в 1944 г. американским микробиологам удалось доказать, что выделенная из пневмококков свободная ДНК обладает свойством передавать генетическую информацию. До этого существовали либо косвенные, либо не совсем надежные свидетельства этого факта. В 1953 г. Д. Уотсоном и Ф. Криком была предложена и экспериментально подтверждена гипотеза о строении ДНК как носителя информации. В 1960-е гг. французскими учеными Ф. Какобом (р. 1920) и Ж. Моно (1910–1976) была решена одна из важнейших проблем генной активности, раскрывающая фундаментальную особенность функционирования живой природы на молекулярном уровне. Они доказали, что по своей активности все гены разделяются на «регуляторные», кодирующие структуру регуляторного белка, и «структурные гены», кодирующие синтез метаболитов, в том числе ферментов. Дальнейшими исследованиями была установлена непосредственная зависимость синтеза белков (ферментов) от состояния генов (ДНК). Оказалось, что если воздействовать на генетический аппарат микроорганизмов определенными физическими факторами (ультрафиолетовые, рентгеновские и другие лучи), то они перестают синтезировать необходимые им метаболиты, в частности, белки. Благодаря этим исследованиям было показано, что основная функция генов состоит в кодировании синтеза белков. В связи с этим возник вопрос: каким образом осуществляется передача информации от ДНК к морфологическим структурам?

Согласно упомянутой выше модели Уотсона и Крика, наследственную информацию в молекуле ДНК несет последовательность четырех оснований: два пуриновых и два пиримидиновых. Между тем в белках содержится 20 аминокислот, и поэтому становится необходимым объяснить, как четырехбуквенная матрица может быть переведена в 20-буквенную запись аминокислот белков. Первое гипотетическое объяснение механизма такого перевода дал Г. Гамов, предположив, что для кодирования одной аминокислоты требуется сочетание из трех нуклеотидов ДНК. Спустя семь лет его гипотеза была подтверждена экспериментально, и тем самым был раскрыт механизм считки генетической информации.

Переход на молекулярный уровень исследования во многом изменил представления о механизме изменчивости. Согласно доминирующей точке зрения, основным источником изменений и последующего отбора являются мутации, возникающие на молекулярно-генетическом уровне. Однако, кроме переноса свойств от одного организма к другому, существуют и другие механизмы изменчивости, важнейшим из которых являются «генетические рекомбинации». В одних случаях, называемых «классическими», они не приводят к увеличению генетической информации, что наблюдается главным образом у высших организмов. В других, «неклассических» случаях рекомбинация сопровождается увеличением информации генома клетки. При этом фрагменты хромосомы клетки-донора могут включаться в хромосому клетки-реципиента, а могут оставаться в латентном, скрытом, состоянии, но под влиянием внешних факторов они становятся активными и потому могут соединиться с клеткой-реципиентом. Дальнейшее исследование генетических рекомбинаций привело к открытию целого вида переносимых или «мигрирующих» генетических элементов.

Дальнейшие исследования «неклассических» форм генетических рекомбинаций привели к открытию целого ряда переносимых, или «мигрирующих» генетических элементов. Важнейшими из них являются автономные генетические элементы, названные плазмидами, которые служат активными переносчиками генетической информации. На основе этих результатов некоторыми учеными высказано предположение, что «мигрирующие» генетические элементы вызывают более существенные изменения в геномах клеток, чем мутации. Все это не могло не поставить вопроса о том, работает ли естественный отбор на молеку-

лярно-генетическом уровне. Появление теории «нейтральных мутаций» еще больше обострило ситуацию, поскольку она доказывает, что изменения в функциях аппарата, синтезирующего белок, являются результатом случайных мутаций, не оказывающих влияния на эволюцию. Хотя такой вывод и не является общепризнанным, но хорошо известно, что действие естественного отбора происходит на уровне фенотипа, т.е. живого, целостного организма, а это связано уже с более высоким уровнем исследования.

Онтогенетический уровень живых систем

В настоящее время считают, что онтогенетический уровень охватывает все отдельные одноклеточные и многоклеточные живые организмы, а раньше чаще всего его рассматривали как уровень, включающий только многоклеточные организмы. Сам термин «онтогенез» ввел в науку известный немецкий биолог Э. Геккель, автор знаменитого биогенетического закона, согласно которому онтогенез в краткой форме повторяет филогенез. Это означает, что отдельный организм в своем индивидуальном развитии в сокращенной форме повторяет историю рода.

Поскольку минимальной самостоятельной живой системой можно считать клетку, постольку изучение онтогенетического уровня следует начать именно с клетки. В зависимости от характера структуры и функционирования все клетки можно разделить на два класса:

– *прокариоты* – клетки, лишенные ядер;

– *эукариоты,* появившиеся позднее клетки, содержащие ядра.

При более глубоком исследовании оказалось, что эти два класса клеток обладают существенными различиями в структуре и функционировании генетического аппарата, строении клеточных стенок и мембранных систем, характере механизмов синтеза белков и т.п.

Соответственно тому, из каких клеток построены живые системы, их можно разделить на две обширные группы или два живых царства. К первому принадлежат многочисленные виды таких одноклеточных организмов, как бактерии, сине-зеленые во-

доросли, грибы и др. Все остальные одноклеточные, а тем более находилась в ином состоянии, нежели многоклеточные организмы, начиная от низших и кончая высшими, построены из позднее возникших эукариотных клеток. Эту классификацию пришлось, однако, пересмотреть после открытия *архебактерий,* особенность которых состоит в том, что их клетки в чем-то сходны, с одной стороны, с прокариотами, а с другой – с эукариотами. На этом основании в настоящее время различают три типа онтогенетического уровня организации живых систем, которые представляют собой три линии развития живого мира: 1) прокариоты, или эубактерии; 2) эукариоты и 3) архебактерии.

По-видимому, эти три линии развития исходят из единой первичной минимальной живой системы, которую можно называть *протоклеткой.* Предполагают, что она обладала всеми основными свойствами, характерными для живых организмов. К ним относят прежде всего способность к обмену с окружающей средой – признак, присущий всем открытым системам. С нею непосредственно связана способность протоклетки к метаболизму, т.е. осуществлению биохимических реакций, сопровождающихся усвоением необходимых для роста клетки веществ и удалением использованных продуктов реакций. Дальнейшее функционирование и развитие клетки предполагает также наличие у нее способности к делению и почкованию. К этим признакам многие исследователи добавляют дополнительные свойства, но все ученые признают, что протоклетка отнюдь не была какой-то бесструктурной массой, а представляла собой достаточно организованную целостность, которую можно охарактеризовать как первичную живую тотему. Предполагают также, что протоклетка по важнейшим своим структурно-функциональным свойствам не была подобна современным одноклеточным прокариотам, а обладала некоторыми признаками, аналогичными свойствам эукариотных клеток.

По вопросу происхождения эукариотных клеток существуют две основные гипотезы. Сторонники аутогенной гипотезы считают, что такие клетки могли возникнуть путем дифференциации и усложнения слабо структурированных клеточных образований, подобных прокариотам. Защитники другой, симбиотической, гипотезы полагают, что эукариотные клетки образовались путем симбиоза нескольких прокариотных клеток, геномы которых внедрились в клетку-хозяина, причем, по одной версии, они способствовали постепенному превращению последней в эукариотную

клетку (рис.4.1), а по другой – она уже обладала некоторыми свойствами эукариотов.

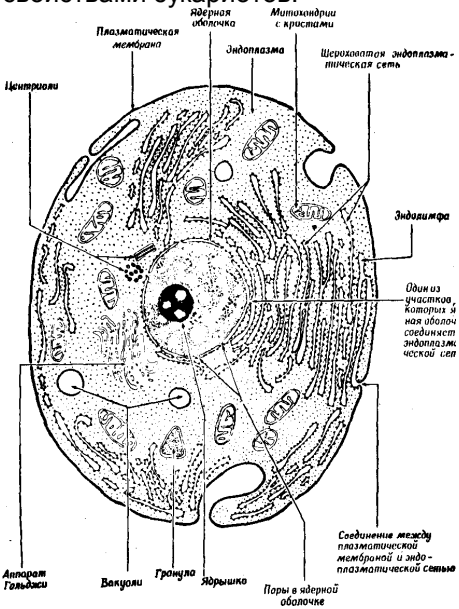


Рис.4.1. Современная схема строения эукариотической живой клетки. Видно расположение различных клеточных компонентов

Структурный подход к анализу первичных живых систем на онтогенетическом уровне, о котором шла речь выше, нуждается в дополнительном освещении функциональных особенностей их жизнедеятельности и обмена веществ. Среди них особого внимания заслуживает исследование трофических, или пищевых, потребностей организмов. Для этого необходимо проследить ваимоотношения организмов с окружающей средой в рамках соответствующей экологической системы. Именно поэтому изучение структуры и основных типов питания уже давно привлекало внимание ученых. Они выделили прежде всего два главных типа питания.

К автотрофному типу относились организмы, которые не нуждались в органической пище и могли жить либо за счет ассимиляции углекислоты (бактерии), либо фотосинтеза (растения). Ко второму, гетеротрофному,

типу принадлежали все организмы, которые не могли жить без органической пищи.

По вопросу о том, какой тип питания возник в начале становления живых систем, мнения расходятся. Одни ученые не без основания полагают, что сначала появился автотрофный тип, поскольку сложные органические вещества, необходимые для гетеротрофного питания, могли образоваться лишь после того, как автотрофные организмы создали для этого необходимые условия. Другие исследователи считают, что гетеротрофное питание появилось раньше автотрофного. Такого допущения, в частности, придерживается в своей гипотезе происхождения жизни А.И. Опарин, полагая, что уже первичный «бульон», в котором зародилась жизнь, содержал органические соединения как питательную среду для дальнейшего развития.

Первоначальная простая классификация основных типов питания и разделения организмов на автотрофов и гипертрофов в дальнейшем подверглась изменениям и уточнениям, в которых выявлялись такие важные факторы, как способность организмов синтезировать необходимые вещества для роста (витамины, гормоны и специфические ферменты), обеспечивать себя энергией, источниками получения углерода, азота и водорода; зависимость от экологической среды и т.п. Таким образом, сложный и дифференцированный характер трофических потребностей организмов свидетельствует о необходимости целостного, системного подхода к изучению живых систем и на онтогенетическом уровне. Такая целостность, взаимосвязь и взаимодействие выступают в общей форме функциональной системности, которая находит выражение в согласованном функционировании различных компонентов одноклеточных и многоклеточных организмов. При этом отдельные компоненты содействуют и способствуют согласованному функционированию других, обеспечивая тем самым единство и целостность в осуществлении всех процессов жизнедеятельности всего организма. Подобная функциональная системность в специфических формах выступает и на других уровнях организации живых организмов.

Уровни организации живых систем

Онтогенетический уровень организации, как мы видели, относится к отдельным живым организмам – одноклеточным и

многоклеточным. Его называют также организменным уровнем, поскольку при этом речь идет о структуре и функциях отдельного организма без учета его связей и взаимодействий с другими организмами. Поскольку минимальной живой системой служит клетка, постольку на этом уровне уделяется такое большое внимание анализу структуры и функционирования различных клеточных образований.

Популяционный уровень начинается с изучения взаимосвязи и взаимодействия между совокупностями особей одного вида, которые имеют единый генофонд и занимают единую территорию. Такие совокупности, или, скорее, системы живых организмов составляют определенную популяцию. Очевидно, что популяционный уровень выходит за рамки отдельного организма, и поэтому его называют надорганизменным уровнем организации.

Приведенное общее определение популяции дает возможность отличать организменный уровень живого от надорганизменного. Сам термин «популяция» был введен одним из основателей генетики – Вильгельмом Иогансеном (1857–1927), который с его помощью отличал генетически неоднородную совокупность организмов от однородной, которую он называл «чистой линией».

В дальнейшем этот термин и обозначаемое им понятие приобрели более глубокий смысл. Многие современные ученые характеризуют популяцию не столько как простую совокупность отдельных организмов, сколько как целостную их систему, в которой они непрерывно взаимодействуют друг с другом и с окружающей средой. Благодаря этому они оказываются способными к трансформациям, изменению своего ареала и, самое главное, к развитию.

Популяции представляют собой первый надорганизменный уровень организации живых существ, который, хотя и тесно связан с их онтогенетическим и молекулярными уровнями, но качественно отличается от них по характеру взаимодействия составляющих элементов, ибо в этом взаимодействии они выступают как целостные общности организмов. По современным представлениям, именно популяции служат элементарными единицами эволюции. Второй надорганизменный уровень организации живого составляют различные системы популяций, которые называют **биоценозами**.

Они являются более обширными объединениями живых существ и в значительно большей мере зависят от небиологических, или абиотических, факторов развития.

Третий надорганизменный уровень организации содержит в качестве элементов разные биоценозы и в еще большей степени характеризуется зависимостью от многочисленных земных и абиотических условий своего существования (географических, климатических, гидрологических, атмосферных и т.п.). Для его обозначения академик В.Н. Сукачев (1880–1967) ввел термин *биогеоценоз.*

Четвертый надорганизменный уровень организации возникает из объединения самых разнообразных биогеоценозов и теперь обычно называется **биосферой.**

Таким образом, в функционировании и развитии живой природы особенно наглядно и убедительно выступают ее целостность и системность, которые проявляются в существовании различных иерархических уровней ее организации. При этом каждый новый уровень характеризуется особыми свойствами и закономерностями, не сводимыми к закономерностям прежнего, низшего уровня.

Поскольку основу надорганизменных уровней организации живого составляют популяции, целесообразно несколько подробнее остановиться на их характеристике.

Изучением популяций и биоценозов занимается интенсивно развивающаяся в последние годы отрасль биологической науки, называемая *популяционной биологией.* Одна из основных проблем, которую она призвана решить, заключается в установлении пространственной структуры и объемов популяций. Определить границу между популяциями чрезвычайно трудно, так как в силу подвижности компонентов популяции, т.е. составляющих ее организмов, происходит непрерывное перемешивание ее населения. Другая трудность – в наличии внутри популяций различных группировок и в существовании популяций разных рангов.

В рамках популяционной биологии исследуются также весьма важные проблемы метаболического взаимодействия между популяциями и биоценозами, которые относятся прежде всего к изучению их *трофических,* или пищевых связей. Именно на этой основе происходит разграничение популяций и биоценозов. Оно состоит в том, что популяции представляют собой незамкнутые, открытые метаболические системы, которые могут существовать

и развиваться только при взаимодействии с другими популяциями. В отличие от них биоценозы – относительно замкнутые метаболические системы, в которых обмен и круговорот веществ могут осуществляться между входящими в биоценоз популяциями. Однако эта замкнутость имеет ограниченный и относительный характер хотя бы потому, что разные биоценозы взаимодействуют между собой. Для характеристики трофического взаимодействия популяций и биоценозов существенное значение имеет общее правило, согласно которому, чем длиннее и сложнее пищевые связи между организмами и популяциями, тем более жизнеспособной и устойчивой является живая система любого (надорганизменного) уровня. Отсюда становится ясным, что с биологической точки зрения на таком уровне решающее значение приобретает *трофический* характер взаимодействия между составляющими живую систему элементами. Популяции, как отмечалось выше, являются элементарными единицами микроэволюции и составляют основу надорганизменных уровней организации живых организмов, поэтому необходимо рассмотреть теории, описывающие возникновение и развитие живых организмов.

Происхождение жизни

Вопрос о происхождении жизни – один из самых трудных в современном естествознании. В первую очередь потому, что мы сегодня не можем воспроизвести процессы возникновения жизни с такой же точностью, как это было миллиарды лет назад. Ведь даже наиболее тщательно поставленный опыт будет лишь моделью, приближением, безусловно, лишенным ряда факторов, сопровождавших появление живого на земле. И тем не менее наука успешно решает вопрос о происхождении живого, проводит многочисленные исследования, постоянно расширяет наши представления о зарождении жизни. Это вполне понятно – проблема жизни лежит в фундаменте всех биологических наук и, в значительной мере, всего естествознания.

Сложность и малоизученность проблемы зарождения жизни на Земле долгое время служили питательной почвой для всевозможных религиозных легенд и мифов. Как известно, еще в далекой древности религия предлагала свои варианты возникновения жизни – сотворение живого «всевышним творцом», «бо-

гом-создателем». Однако развитие науки, исследование неизвестных ранее природных явлений, открытие важных законов природы постепенно подтачивали религиозное толкование и объяснение мира. И хотя сегодня любые попытки примирить религиозные утверждения с научными данными выглядят абсурдными, богословы прилагают немало усилий, чтобы «согласовать» научные теории с идеей божественного творения.

Материалистические теории возникновения жизни располагают сейчас многими прямыми и косвенными научными доказательствами своей правоты. С помощью совершеннейших приборов и методов моделируются и изучаются отдельные этапы возникновения живого органического вещества. И можно уверенно утверждать: недалеко время, когда в лабораториях ученых появятся первые крохотные живые клетки. Тем самым будет окончательно доказан естественный характер скачка от неживого к живому.

Более 50 лет вопрос о происхождении жизни разрабатывается крупнейшими учеными, начиная с А.И. Опарина, Б.С. Холдейна. Крупный вклад в это решение внесли Дж. Оро, Г. Меллер, Дж. Бернал, В. Г. Фесенков, Понаперума и другие.

Рассматривая вопрос о происхождении жизни, нельзя оставлять в стороне космические процессы, приведшие к образованию самой Земли и других планет Солнечной системы. История жизни и история Земли неотделимы друг от друга. Именно в этих и последующих процессах развития нашей планеты закладывались условия будущего существования жизни – диапазоны температур, влажности, давлений, уровни радиации и т.п.

Как известно из предыдущих бесед, в настоящее время общепринятой гипотезой о происхождении Земли и всей Солнечной системы является предположение о том, что наша Земля и все планеты сконденсировались из космической пыли, располагавшейся в окрестностях Солнца. Скорее всего, частицы пыли состояли из железа с примесью никеля либо из силикатов (веществ, в состав которых входит широко распространенный на Земле кремний), например, силикатов магния, и каждая частица была окружена льдом. Конечно, кроме пыли везде присутствовал газ. И газ, и частицы пыли пронизывались солнечной радиацией.

При этом весьма вероятно, что на внешних участках Солнечной системы *газы* могли конденсироваться, образуя различные летучие *органические соединения,* в которых присутствует

основной элемент всех живых организмов – *углерод.* Постепенно Солнце разогревало их, газы снова испарялись, но некоторая часть их под действием излучений превращалась в менее летучие *углеводороды* (соединения углерода с водородом) и *соединения азота.*

Возможно, что именно пылевые частицы, окруженные оболочками из органических соединений, объединяясь, образовали сначала астероиды, а затем планеты. Известно, например, что гиганты Солнечной системы – Юпитер, Сатурн, Уран – в основном состоят из метана, водорода, аммиака и льда – веществ, служащих основой всех сложнейших органических соединений.

С другой стороны, общая поверхность пылинок была очень велика. А это значит, что на ней могли образоваться различные соединения углерода и азота – прямых предшественников жизни. Данное предположение доказывается тем, что ряд органических соединений найден в метеоритах, например, *аденин* – биологически очень важное азотистое основание. Он был также искусственно получен в лаборатории при условиях, которые имитировали первичную атмосферу Земли. А, скажем, органические соединения, играющие большую роль в обмене веществ живых организмов, – щавелевую, муравьиную и янтарную кислоты удалось искусственно получить при облучении водных растворов углекислоты.

Первичная атмосфера Земли, как и других планет, содержала, очевидно, *метан, аммиак, водяной пар* и *водород.* Воздействуя в лаборатории на смесь этих газов электрическими разрядами, имитирующими молнию, и ультрафиолетовым излучением, ученые получили сложные органические вещества, входящие в состав живых белков, – глицин, аланин и другие.

Таким образом, сейчас не приходится сомневаться в том, что под воздействием электрических разрядов, световой и ультрафиолетовой радиации еще до образования Земли или на самой первой стадии ее существования из *неорганических соединений* мог возникнуть ряд довольно сложных *органических веществ.* Образовавшиеся органические вещества – это уже первый шаг на пути к жизни.

Какие же элементы являются основными слагаемыми живого, его «кирпичиками»? Это в первую очередь *углерод, кислород, азот* и *водород.* В живой клетке, например, по весу содержится около 70% кислорода, 17% углерода, 10% водорода, 3% азота,

затем идут фосфор, калий, хлор, сера, кальций, натрий, магний, железо. Их количество в клетке не превышает десятых долей процента. Далее следуют медь, цинк, йод, фтор и другие элементы, присутствующие в тысячных и десятитысячных долях процента.

Особая роль в живых организмах принадлежит *углероду.* Говорят, что жизнь на нашей планете «углеродная», т.е. в основе всех органических соединений и веществ организмов лежит углерод.

Могли ли быть соединения, составляющие основу жизни, построены на каком-либо другом элементе, а не на углероде? Подумаем, на каком. Металлы для этой цели вряд ли подойдут: они не могут сами образовывать студневидные, насыщенные водой подвижные и разнообразные структуры. Соединяясь с кислородом, металлы дают, как правило, прочные соединения, где процессы воспроизведения невозможны. У металлов и металлических систем весьма велика электропроводность. Поток электронов в них встречает очень малое сопротивление, и для того чтобы регулировать его, разбивать на более мелкие потоки, направлять их по различным структурам, запасать энергию, понадобились бы невообразимые ухищрения. Правда, ионы металлов переменной валентности оказались практически полезными и используются в жизненных циклах для регулируемой передачи электронов.

В числе возможных кандидатов на роль основного элемента жизни мог бы оказаться кремний. Его соединения могут быть студневидными, но число их сравнительно невелико, и они либо весьма нестойки, либо активны только при очень высоких температурах.

Углеродные же соединения обладают целым рядом свойств, делающих их незаменимыми в качестве основных соединений жизни. Прежде всего, число органических соединений, образованных на основе углерода, огромно (несколько десятков миллионов), и они активны при сравнительно небольших температурах. Атомы углерода в молекулах могут образовывать длинные цепи, имеющие вид скрученных спиралей, просто извитых цепочек и т.д. Сравнительно небольшие перестройки молекул углеродных соединений значительно меняют их химическую активность, которая возрастает также при наличии разного рода катализаторов. «Длинная» молекула углеродных соединений в случае необходимости может служить проводником и регулятором

потока электронов. Если же углерод соединяется с такими элементами, как водород, кислород, азот, фосфор, сера, железо, то новообразование обладает замечательными каталитическими, строительными, энергетическими, информационными и многими другими свойствами. Перечисленные и ряд иных качеств углерода делают его единственно достойным кандидатом на роль основного элемента жизни.

Все элементы («кирпичики») живого принадлежат к наиболее устойчивым и распространенным во Вселенной веществам. Они легко соединяются между собой, вступают в реакции и обладают малым атомным весом.

Соединения, образованные такими «кирпичиками», должны легко растворяться в воде. Этим свойством обладают, например, соединения калия, а также натрия, которые составляют необходимый компонент жизни.

Наша планета богата водой. В то же время Земля расположена на таком расстоянии от Солнца, что необходимая для жизни вода находится в жидком, а не в твердом или газообразном состоянии, как на других планетах. Иначе говоря, наша планета – та «золотая середина» в Солнечной системе, которая наиболее подходит для зарождения жизни. Ученые считают, что на Земле имелся и имеется наилучший интервал температур, необходимый для зарождения и существования живого.

Является ли Земля тем единственным космическим телом, на котором возможна жизнь? По-видимому, нет: ведь только в нашей Галактике имеется примерно 150 миллиардов звезд. И вполне вероятно, что в ней существуют космические тела, на которых возможна жизнь.

Итак, первый шаг на пути к возникновению жизни заключался в образовании *органических веществ* из *неорганического космического «сырья»* при определенном уровне температуры, влажности, радиации, давлении и т. д. Этот процесс протекал в соответствии с законами астрофизики и химии. Без всякого вмешательства «надприродных» сил совершалось и дальнейшее усложнение органических веществ. На этой стадии, по-видимому, уже начал действовать *предварительный отбор* тех соединений, которые позднее явились составными частями первых организмов. Другими словами: из множества образовавшихся веществ сохранялись лишь наиболее устойчивые и способ-

ные к дальнейшему усложнению, а весь длительный путь к жизни шел под влиянием конкретных условий окружающей среды.

Для построения любого сложного органического соединения живых организмов нужен весьма небольшой набор слагающих блоков-мономеров (низкомолекулярных соединений). Например, имея всего 29 не очень сложных мономеров, можно описать биохимическое строение любого живого организма. В число их входят 20 *аминокислот,* из которых построены все белки, 5 *азотистых,* т.е. содержащих азот, *оснований* (из них в комбинациях с другими веществами образуются носители наследственности – нуклеиновые кислоты), а также *глюкоза* – важнейший источник энергии, необходимой для жизнедеятельности, *жиры* – структурный материал, идущий на построение в клетке мембран и запасающий энергию. Такое сравнительно небольшое число соединений – результат действия в течение почти миллиарда лет естественного отбора, выделившего их из огромного количества некогда возникших веществ и определившего их пригодность для существования при определенном уровне температуры, влажности, радиации, давлении и т.д. Этот процесс протекал в соответствии с законами астрофизики и химии. Без всякого вмешательства «надприродных» сил совершалось и дальнейшее усложнение органических веществ. На этой стадии, по-видимому, уже начал действовать *предварительный отбор* тех соединений, которые позднее явились составными частями первых организмов. Другими словами: из множества образовавшихся веществ сохранялись лишь наиболее устойчивые и способные к дальнейшему усложнению, а весь длительный путь к жизни шел под влиянием конкретных условий окружающей среды.

Соединения, возникшие на основе углерода, образовали *«первичный бульон»* гидросферы. Существует научная гипотеза, согласно которой содержащие углерод и азот вещества возникали в расплавленных глубинах Земли и выносились на поверхность при вулканической деятельности. Размываясь водой, они могли попасть в океан, где участвовали в образовании «первичного бульона».

Второй важнейший шаг в образовании живых организмов заключался в том, что из множества различных отдельных молекул органических веществ, существовавших в первичном океане Земли, возникли упорядоченные сложные *веществабиополимеры* – белки и нуклеиновые кислоты. Они уже обладали важней-

шим биологическим свойством – вполне воспроизводить аналогичные себе молекулы.

Каким же образом осуществлялось формирование биополимеров? В рассматриваемый период все органические соединения находились в первичном океане Земли. Для того чтобы между соединениями могли произойти реакции, ведущие к образованию сложных биологически важных молекул, концентрация органических соединений должна была быть сравнительно высокой. Такая концентрация веществ могла образоваться в результате осаждения соединений на различных минеральных частицах, например, на частичках глины или гидроокиси железа, образующих ил прогреваемого солнцем мелководья. Кроме того, органические вещества могли образовать на поверхности океана тонкую пленку, которую ветер и волны гнали к берегу. Здесь она собиралась в толстые слои, в результате чего концентрация органических веществ повышалась в тысячи раз.

Возможно также, что концентрация веществ происходила на органических частицах, обособившихся от «первичного бульона» океана. Этот процесс известен в химии: в разбавленных растворах родственные молекулы объединяются друг с другом. Такое объединение молекул помогает им перейти в более устойчивое энергетическое состояние.

Итак, отдельные похожие и сравнительно несложные органические соединения начали объединяться в крупные биологические молекулы. Образовались *ферменты* – белковые вещества-катализаторы, которые способствуют возникновению или распаду молекул. В результате деятельности первичных ферментов возникли одни из важнейших органических соединений – *нуклеиновые кислоты,* сложные полимерные (т.е. состоящие из многих блоков-мономеров) вещества. Мономеры в нуклеиновых кислотах расположены таким образом, что несут определенную информацию, код, заключающийся в том, что каждой аминокислоте, входящей в белок, соответствует определенный набор из трех мономеров, так называемый триплет нуклеиновой кислоты. Таким образом, на основе «планов» нуклеиновых кислот строятся белки и происходит обмен с внешней средой веществом и энергией. Затем возникают и другие сложные органические соединения.

Эта стадия была ключевой, переломной в возникновении жизни на Земле. Молекулы нуклеиновых кислот приобрели свой-

ство самовоспроизведения себе подобных; заключенная в кислотах информация вела к строгой упорядоченности отдельных составляющих их мономеров. Молекулы нуклеиновых кислот стали управлять всем процессом образования белковых веществ.

Таким образом, в первичном океане Земли возникли химические соединения, которые, черпая энергию из внешней среды, могли поддерживать свое существование и воспроизводить себе подобных. Можно считать, что с этого момента на Земле возникла жизнь. Зарождение живого, очевидно, происходило в наиболее благоприятных участках океана.

Что же такое жизнь, какое ее определение будет наиболее полным и точным? Жизнь – это особая форма существования материи, особая форма ее движения. Она невозможна без существования и функционирования белков и нуклеиновых кислот; жизнь – производное водной оболочки Земли, ее гидросферы; она – часть нескончаемого движения Вселенной. Характерные особенности жизни – обмен с внешней средой, воспроизведение себе подобных, постоянное развитие.

Химическая эволюция возникших на Земле органических соединений неизбежно вела к последовательному *усложнению* этих соединений и процессов их образования. В результате приспособления органических соединений к внешней среде оставались лишь те из них, которые могли дать еще более сложные образования. Последовательность объединения простых соединений в сложные вначале была случайной; однако в процессе эволюции отбирались только участки, если можно так сказать, с наиболее удачной упорядоченностью. Постепенно возникли высокомолекулярные соединения с высокой степенью упорядоченности и способностью воспроизводить себе подобных.

Но можно ли говорить, что именно на этом этапе возникла жизнь? Ведь организмов, с их обменом веществ, раздражимостью, способностью приспособления к изменяющимся внешним условиям, к росту и размножению, еще не существовало.

С точки зрения современной науки, да, можно.

Возникновению первых организмов, как мы говорили, предшествовала необходимая биохимическая стадия возникновения жизни. На этой стадии в удобных, например, мелководных, заиленных, участках океана образовались сложные биологические молекулы-биополимеры, о которых мы уже упоминали. Вначале их существование поддерживалось чисто химическими

процессами. А к концу биохимической стадии появились первичные структурные образования – так называемые *мембраны.* Они отграничили смеси органических веществ от внешней среды.

Впоследствии мембраны сыграли главную роль в построении всех *живых клеток.*

Клетки как основные структурные элементы живого стали объектом научного исследования более 300 лет назад. Их впервые обнаружил английский ученый Р. Гук. В XIX в. немецкие биологи Шлейден и Шванн сформулировали *клеточную теорию,* которая лежит в основе современной биологической науки. В нескольких словах ее суть можно определить так: тела всех растений и животных состоят из основных единиц жизни – клеток. Живое содержимое клетки получило название *протоплазмы* (в настоящее время чаще называется *цитоплазмой*). Виды клеток животного и растительного организма приведены на рис. 4.2 и 4.3.

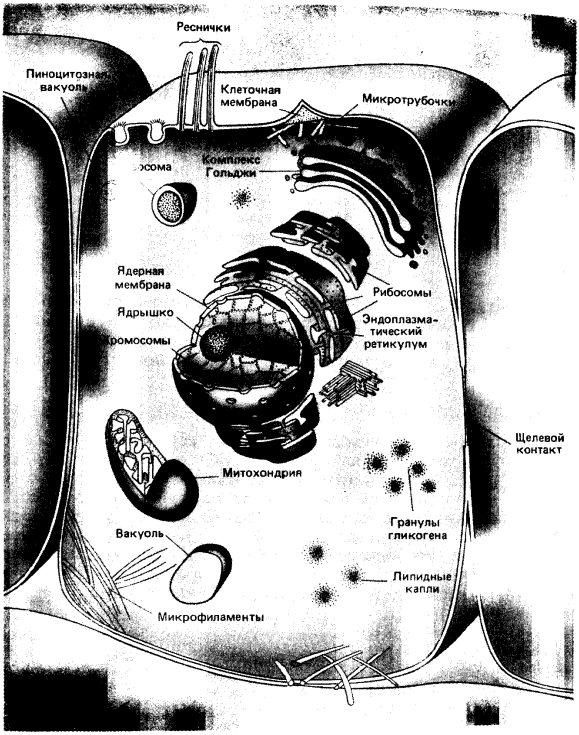


Рис. 4.2. Обобщенная схема клетки животного организма

Ученые считают, что первые организмы на Земле были одноклеточными прокариотами. По своему строению они напоминали, например, существующие ныне бактерии или сине-зеленые водоросли. Для «сборки» одноклеточных организмов «использовались» сложные самовоспроизводящиеся молекулы нуклеиновых кислот, белковые вещества, мембраны.

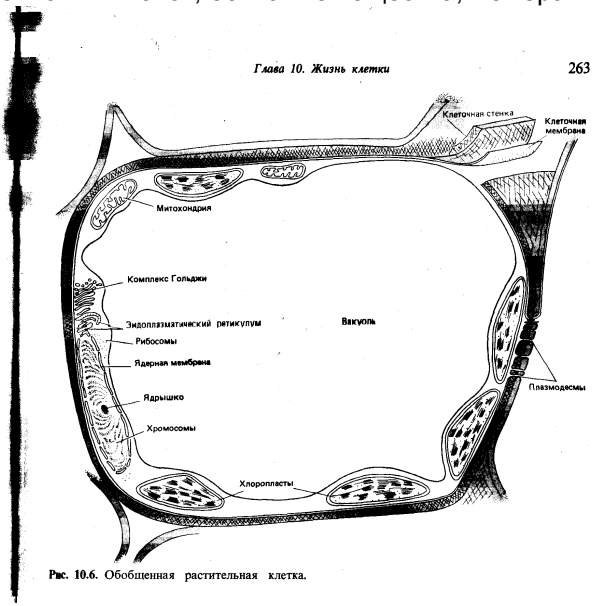


Рис. 10.6. Обобщенная растительная клетка.

Первые клетки – прокариоты (рис.4.1)– представляли собой «живые» молекулы, окруженные мембраной. Постепенно прокариоты усложнялись, присоединяя к себе другие «живые» молекулы или их комплексы.

Итак, каким же требованиям должны отвечать зарождающиеся клетки живого?

Во-первых, соединения жизни, т.е. разнообразные и многочисленные соединения углерода, должны быть активны при сравнительно невысоких температурах поверхности Земли. При этом скорость протекания жизненных процессов должна значи-

тельно меняться при сравнительно небольших изменениях температуры.

В результате многочисленных исследований ученые пришли к выводу, что скорость и последовательность жизненных реакций клеток определяется характером надмолекулярных структур, т.е. закономерностью расположения больших молекул в углеродных соединениях.

Во-вторых, для жизни абсолютно необходим приток энергии извне, из окружающей среды. Энергию клетка получает с пищей. Для жизни важным является, однако, не только получение энергии, но и способность запасать и хранить ее. В противном случае организм мог бы существовать, лишь непрерывно поглощая пищу.

В-третьих, поскольку живой организм неразрывно связан с окружающей средой, он должен реагировать на ее изменения определенными комплексами реакций, ослабляющих или устраняющих нежелательные воздействия внешних условий. Иными словами, клетка должна располагать определенным «запасом прочности», авторегулироваться.

В-четвертых, все живое должно постоянно и с большой точностью воспроизводить себя. Значит, целый ряд внутриклеточных процессов должен обеспечивать размножение клетки. За хранение наследственной информации и ее реализацию в клетке отвечают прежде всего нуклеиновые кислоты: они служат своеобразными матрицами, с которых делается множество копий живого. Благодаря тем данным, которые заключены в структурах нуклеиновых кислот, осуществляется жизненно необходимый синтез белка, самих нуклеиновых кислот и т.п.

В-пятых, так как в каждой клетке ежеминутно протекает множество химических реакций под контролем ферментов-катализаторов, то эти катализаторы должны быть достаточно универсальны и должны воспроизводиться на тех же матрицах, что и другие вещества, состоять из блоков синтезируемых и распространенных в клетке веществ. В своей работе ферменты-катализаторы избирательно ускоряют то одни, то другие реакции, обеспечивая тем самым жизнедеятельность клетки.

С образованием первых клеток был сделан величайший шаг в зарождении жизни на нашей планете. У читателя может возникнуть вполне законный вопрос: а может ли жизнь возникать в наше время? Ученые считают, что возникновение живого принципиально осуществимо и сегодня. Но сможет ли оно существо-

вать и развиваться? Нет, отвечает наука, не сможет: имеющиеся на Земле организмы мгновенно бы уничтожили новообразование.

Предметом длительных споров являлся вопрос о том, возник ли на земле сначала какой-то один вид организма, от которого пошли все остальные, или появилось сразу множество разнообразных? Скорее всего, по данным современных наук, из большого количества высокомолекулярных органических соединений первичного океана более или менее одновременно возникло великое *множество первых комочков живой протоплазмы.* Они гибли в морских прибоях, в горячих водоворотах, высыхали при отливах, замерзали в холодных глубинных слоях океана. Но огонек жизни уже загорелся, и ему суждено было гореть вечно.

Многие из появившихся организмов стали хищниками: они строили вещество своих клеток за счет других организмов. Другие успешно развивались в содружестве с окружающими.

Проходили сотни миллионов, даже миллиарды лет. За это долгое время из первых прокариотов возникли эукариоты. Прокариотам, таким образом, пришлось существенно потесниться, многие их виды, по-видимому, исчезли. У эукариотов в клетке существует уже оформленное ядро с веществами, содержащими код синтеза белка, и ядрышко, находящееся в ядре.

Приблизительно в это же время у эукариотов намечается «выбор» растительного или животного образа жизни. Основное различие этих двух образов жизни заключается в *способе питания* и связано с возникновением такого важного для всего живого на Земле процесса, как *фотосинтез.*

Фотосинтез заключается в создании органического вещества, например сахаров, из углекислоты и воды при использовании энергии солнечного света. Фотосинтез складывается из быстрых, зависящих от света «световых реакций» и более медленных, способных протекать в темноте, «темновых реакций». Такой процесс зеленые растения могут осуществлять благодаря особым свойствам содержащегося в них вещества – *хлорофилла,* зеленого пигмента. Ежегодно растения Земли создают при помощи фотосинтеза около 200 миллиардов тонн органического вещества, причем 90% этого количества вырабатывают водоросли и только 10% – наземные растения.

С возникновением фотосинтеза в атмосферу Земли начал поступать *кислород.* Подсчитано, что благодаря фотосинтезу вся углекислота планеты – и в атмосфере, и растворенная в воде – обновляется примерно за 300 лет, а весь кислород – за 2 тысячи лет. Теперешнее содержание кислорода в атмосфере (21%) было достигнуто около 250 миллионов лет назад в результате интенсивного развития наземных растений.

Итак, мы видим, что в результате фотосинтеза образовалась так называемая *вторичная атмосфера Земли* с высоким содержанием кислорода. Первичная была наполнена ядовитыми газами, в частности, углекислым. В дальнейшем развитие жизни шло по пути совершенствования кислородного обмена, ибо кислород – очень активный газ. Он быстро окисляет многие вещества, а значит, и ускоряет биохимические реакции, происходящие в живых организмах.

Возникшие одноклеточные организмы продолжали совершенствоваться. Некоторые из них, объединяясь, стали жить колониями. Объединение давало возможность успешно осуществлять различные жизненные функции. В колонии как прообразе многоклеточного организма клетки начинают специализироваться: одни реагируют на свет, другие отвечают за процессы размножения.

Первые *многоклеточные организмы* возникли путем *объединения одноклеточных.* Это был следующий великий этап в развитии жизни. Многоклеточные морские организмы развивались и совершенствовались дальше. Одни из них осели на дно и прикрепились к нему (первые водоросли и кораллы). Другие построили себе домик-раковину, которую стали всюду таскать за собой для защиты от врагов. Третьи стали совершенствоваться в плавании, ползании по дну (первые медузы)... Жизнь бурно развивалась и совершенствовалась. Далее начинается ее палеонтологическая летопись, многие каменные страницы которой уже прочтены учеными.

Концепции возникновения жизни

Концепции, касающиеся возникновения Земли, да и всей Вселенной, разнообразны и далеко не достоверны. Согласно коцепции стационарного состояния, Вселенная существовала извечно. Согласно другим гипотезам, Вселенная могла возник-

нуть из сгустка нейтронов в результате Большого взрыва, родилась в одной из черных дыр или же была создана Творцом. Вопреки бытующим представлениям, наука не в состоянии опровергнуть идею о божественном сотворении первозданной Вселенной, так же как теологические взгляды не обязательно отвергают возможность того, что жизнь в процессе своего развития приобрела черты, объяснимые на основе законов природы.

Среди главных концепций возникновения жизни на Земле следует упомянуть следующие:

1) жизнь была создана сверхъестественным существом в определенное время (креационизм);

2) жизнь возникала неоднократно из неживого вещества (самопроизвольное зарождение);

3) жизнь существовала всегда (теория стационарного состояния);

4) жизнь занесена на нашу планету извне (панспермия);

5) жизнь на нашей планете возникла случайно;

6) жизнь возникла в результате процессов, подчиняющихся химическим и физическим законам (биохимическая эволюция).

Креационизм

Согласно этой концепции, жизнь возникла в результате какого-то сверхъестественного события в прошлом; ее придерживаются последователи почти всех наиболее распространенных религиозных учений. В 1650 г. архиепископ Ашер из г. Арма (Ирландия) вычислил, что бог сотворил мир в октябре 4004 г. до н.э. и закончил свой труд 23 октября в 9 часов утра, создав человека. Ашер получил эту дату, сложив возрасты всех людей, упоминающихся в библейской генеалогии, – от Адама до Христа («кто кого родил»). С точки зрения арифметики это разумно, однако при этом получается, что Адам жил в то время, когда, как показывают археологические находки, на Ближнем Востоке существовала хорошо развитая городская (шумерская) цивилизация, которая имела свою письменность, развитое хозяйство, имела разносторонние торговые связи с соседними государствами.

Очень близкие легенды о сотворении мира и живых существ каким-то сверхестественным существом присутствуют в мифах и сказаниях очень многих народов на Земле. Эти мифы и сказания появились значительно раньше, чем Библия. Например, пред-

ставления шумеров о возникновении мира, о появлении человека нашли отражение в Библии. Главными богами шумеров были Ан (небо) и Ки (земля), которые были неразрывно связаны. Ан практически не вмешивался в дела на Земле, передав эти функции богам, родившимся от него. Так, родившийся от этого союза бог воздуха Энлиль разделил небо и землю и практически господствовал над Вселенной. Мифы древнейших народов, религиозные убеждения современных людей указывают на сходство попыток объяснить как появление природы, так и различные природные явления.

Традиционное иудейско-христианское представление о сотворении мира, изложенное в Книге Бытия, 1.1.-26, вызывало и продолжает вызывать споры. Хотя все христиане признают, что Библия – завет господа людям, по вопросу о длине «дня», упоминающегося в Книге Бытия, существуют разногласия. Некоторые считают, что мир и все населяющие его организмы были созданы за шесть дней продолжительностью по 24 часа. Они отвергают любые другие точки зрения и целиком полагаются на вдохновение, созерцание и божественное откровение. Другие христиане не относятся к Библии как к научной книге и считают, что в Книге Бытия изложено в понятной для людей всех времен форме теологическое откровение о сотворении всех живых существ всемогущим творцом. Для них описание сотворения живых существ скорей относится к ответу на вопрос «почему?», а не «каким образом?». Если наука в поисках истины широко использует наблюдение и эксперимент, то богословие постигает истину через божественное откровение и веру.

«Вера же есть осуществление ожидаемого и уверенность в невидимом ... Верою осознаем, что вещи устроены словом Божьим, так что из невидимого произошло видимое» (Послание к евреям, 11, 1-3).

Вера признает вещи, которым нет доказательств в научном смысле слова. Это означает, что логически не может быть противоречия между научным и богословским объяснением сотворения мира, так как эти две сферы мышления взаимно исключают одна другую. Для ученого научная истина всегда содержит элемент гипотезы, предварительности, но для верующего теологическая картина абсолютна.

Процесс божественного сотворения мира мыслится как имевший место лишь единожды и поэтому недоступный для наблюдения; этого достаточно, чтобы вынести всю концепцию бо-

жественного сотворения за рамки научного исследования. Наука занимается только теми явлениями, которые поддаются наблюдению, а поэтому она никогда не будет в состоянии ни доказать, ни отвергнуть эту концепцию.

Самопроизвольное зарождение

Эта концепция была распространена в древних Китае, Вавилоне и Египте в качестве альтернативы креационизму, с которым она сосуществовала. Аристотель (384–322 до н.э.), которого часто провозглашают основателем биологии, придерживался теории спонтанного зарождения. На основе собственных наблюдений он развил эту теорию дальше, связывая все организмы в непрерывный ряд – «лестницу природы» (scala naturae):

«Ибо природа совершает переход от безжизненных объектов к животным с такой плавной последовательностью, поместив между ними существа, которые живут, не будучи при этом животными, что между соседними группами, благодаря их тесной близости, едва можно заметить различия» (Аристотель).

Этим высказыванием Аристотель укрепил более ранние высказывания Эмпедокла об органической эволюции. Согласно теории Аристотеля о спонтанном зарождении, определенные «частицы» вещества содержат некое «активное начало», которое при подходящих условиях может создать живой организм. Аристотель был прав, считая, что это активное начало содержится в оплодотворенном яйце, но ошибочно полагал, что оно присутствует также в солнечном свете, тине и гниющем мясе.

«Таковы факты – живое может возникать в результате не только спаривания животных, но и разложения почвы... Так же обстоит дело и у растений: некоторые развиваются из семян, а другие как бы самозарождаются под действием сил природы, возникая из разлагающейся земли, отбросов или из определенных частей растений» (Аристотель). Эту идею поддерживали такие выдающиеся ученые и мыслители как Парацельс, эмбриолог Гарвей, Н. Коперник, Г. Галилей, Р. Декарт, Гете, Шеллинг и др. Их авторитет во многом определил долгий срок существования теории самозарождения и ее широкое распространение.

С распространением христианства, концепция спонтанного зарождения жизни оказалась не в чести; ее признавали лишь те,

кто верил в колдовство и поклонялся нечистой силе, но эта идея все же продолжала существовать в течение еще многих веков. Ван Гельмонт (1577–1644), весьма знаменитый и удачливый ученый, описал эксперимент, в котором он за три недели якобы создал мышей. Для этого нужны были грязная рубашка, темный шкаф и горсть пшеницы. Активным началом в процессе зарождения мыши Ван Гельмонт считал человеческий пот.

Даже опыты Ф. Реди и Спаллацани не смогли поколебать эту концепцию. В 1688 г. итальянский биолог и врач Франческо Реди, живший во Флоренции, подошел к проблеме возникновения жизни более строго и подверг сомнению теорию спонтанного зарождения. Реди установил, что маленькие белые червячки, появляющиеся на гниющем мясе, – это личинки мух. Проведя ряд экспериментов, он получил данные, подтверждавшие мысль о том, что жизнь может возникнуть только из предшествующей жизни (концепция биогенеза).

«Убежденность была такой тщетной, если бы ее нельзя было подтвердить экспериментом. Поэтому в середине июля я взял четыре больших сосуда с широким горлом, поместил в один из них змею, в другой – немного рыбы, в третий – угрей из Арно, в четвертый – кусок молочной телятины, плотно закрыл их и запечатал. Затем я поместил то же самое в четыре других сосуда, оставив их открытыми... Вскоре мясо и рыба в незапечатанных сосудах зачервивели; можно было видеть, как мухи свободно залетают в сосуды и вылетают из них. Но в запечатанных сосудах я не видел ни одного червяка, хотя прошло много дней, после того как в них была положена дохлая рыба» (Реди).

Эти эксперименты, однако, не привели к отказу от идеи самозарождения, и хотя эта идея несколько отошла на задний план, она продолжала оставаться главной теорией в неклерикальной среде.

В то время как эксперименты Реди, казалось бы, опровергали спонтанное зарождение мух, первые микроскопические исследования Антона ван Левенгука усилили эту теории применительно к микроорганизмам. Сам Левенгук не вступал в споры между сторонниками биогенеза и спонтанного зарождения, однако его наблюдения давали пищу обеим теориям и в конце концов побудили других ученых поставить эксперименты для решения вопроса о возникновении жизни путем спонтанного зарождения.

В 1765 г. Ладзаро Спалланцани провел следующий опыт: подвергнув мясные и овощные отвары кипячению в течение не-

скольких часов, он сразу же их запечатал, после чего снял с огня. Исследовав жидкости через несколько дней, Спалланцани не обнаружил в них никаких признаков жизни. Из этого он сделал вывод, что высокая температура уничтожила все формы живых существ и что без них ничто живое уже не могло возникнуть.

В 1860 г. проблемой происхождения жизни занялся Луи Пастер. К этому времени он уже многое сделал в области микробиологии и сумел разрешить проблемы, угрожавшие шелководству и виноделию. Он показал также, что бактерии вездесущи и что неживые материалы легко могут быть заражены живыми существами, если их не простерилизовать должным образом. В результате ряда экспериментов, в основе которых лежали методы Спалланцани, Пастер доказал справедливость теории биогенеза и окончательно опроверг теорию спонтанного зарождения.

Однако подтверждение теории биогенеза породило другую проблему. Коль скоро для возникновения живого организма необходим другой живой организм, то откуда же взялся самый первый живой организм? Только теория стационарного состояния не требует ответа на этот вопрос, а во всех других теориях подразумевается, что на какой-то стадии истории жизни произошел переход от неживого к живому. Было ли это первичным самозарождением?

Концепция стационарного состояния

Согласно этой концепции, жизнь никогда не возникала, а существовала вечно. Земля всегда способна поддерживать жизнь, а если жизнь и изменялась, то очень мало; виды также существовали всегда**.** Считается, что после Большого взрыва, в процессе которого образовалась наша Вселенная, на ранних этапах ее развития произошло разделение вещества на живое и неживое.

Оценки возраста Земли сильно варьировали – от примерно 6000 лет по расчетам архиепископа Ашера до 50 005 010 560 лет по современным оценкам, основанным на учете скоростей радиоактивного распада. Более совершенные методы датирования дают все более высокие оценки возраста Земли, что позволяет сторонникам концепции стационарного состояния полагать, что Земля существовала всегда. Согласно этой концепции, виды

также никогда не возникали, они существовали всегда, и у каждого вида есть лишь две возможности – либо изменение численности, либо вымирание.

Сторонники этой концепции не признают, что наличие или отсутствие определенных ископаемых остатков может указывать на время появления или вымирания того или иного вида, и приводят в качестве примера представителя кистеперых рыб – латимерию. По палеонтологическим данным кистеперые вымерли в период мелового периода, 70 миллионов лет назад. Однако это заключение пришлось пересмотреть, когда в районе Мадагаскара были найдены живые представители кистеперых. Сторонники теории стационарного состояния утверждают, что только изучая ныне живущие виды и сравнивая их с ископаемыми остатками, можно делать вывод о вымирании, да и в этом случае весьма вероятно, что он окажется неверным. Используя палеонтологические данные для подтверждения концепции стационарного состояния, ее немногочисленные сторонники интерпретируют появление ископаемых остатков в экологическом аспекте. Так, например, внезапное появление какого-либо ископаемого вида в определенном пласте они объясняют увеличением численности его популяции или его перемещением в места, благоприятные для сохранения остатков. Большая часть доводов в пользу этой концепции связана с такими неясными аспектами эволюции, как значение разрывов в палеонтологической летописи, и она наиболее подробно разработана именно в этом направлении.

Концепция панспермии

Эта концепция не предлагает никакого механизма для объяснения первичного возникновения жизни, а выдвигает идею о ее внеземном происхождении. Поэтому ее нельзя считать теорией возникновения жизни как таковой; она просто переносит проблему в какое-то другое место во Вселенной. Эта концепция разрабатывалась в середине XIX века Г. Рихтером. Ее разделяли такие ученые как С. Аррениус, Г. Гельмгольц, В.И. Вернадский. Так, С. Аррениус в 1908 году высказал мысль о том, что жизнь на Земле началась тогда, когда на нашу планету из космоса попали зародыши жизни. «Частицы жизни», носящиеся в просторах космоса, переносимых давлением света от звезд, оседали то здесь, то там, осеменяя ту или иную планету.

Концепция панспермии утверждает, что жизнь могла возникнуть один или несколько раз в разное время и в разных частях Галактики или Вселенной. Для обоснования этой концепции используются многократные появления НЛО (неопознанные летающие объекты), наскальные изображения предметов, похожих на ракеты и «космонавтов», а также сообщения якобы о встречах с инопланетянами. Советские и американские исследования в космосе позволяют считать, что вероятность обнаружить жизнь в пределах нашей Солнечной системы ничтожна, однако они не дают никаких сведений о возможной жизни вне этой системы.

При изучении материала метеоритов и комет в них были обнаружены многие «предшественники живого» – такие вещества, как цианогены, синильная кислота и органические соединения, которые, возможно, сыграли роль «семян», падавших на голую Землю. Появился ряд сообщений о нахождении в метеоритах объектов, напоминающих примитивные формы жизни, однако доводы в пользу их биологической природы пока не кажутся ученым убедительными. Тем не менее эта концепция полного научного обоснования не получила. Хотя спектр возможных условий для существования живых организмов достаточно широк, все же считается, что они должны погибнуть в космосе под действием жесткого космического и ультрафиолетового излучений. Кроме того, эта концепция не решает вопрос о происхождении жизни, а говорит о занесении жизни на Землю. Где же и когда возникла жизнь?

Гипотеза случайного возникновения жизни

Согласно этой гипотезе, на Земле случайно возникла первичная живая молекула. Эта молекула появилась лишь один раз за время существования нашей планеты. Поэтому экспериментально эту гипотезу проверить невозможно. Тем не менее гипотеза получила широкое распространение среди генетиков, особенно в связи с открытием роли ДНК в явлениях наследственности. Г. Меллер в 1929 г. развивал мысль о том, что на Земле случайно образовалась единичная «живая генная молекула», обладавшая внутримолекулярным жизнеопределяющим строением, которое она пронесла неизменным через все развитие земной жизни. Долгое время моделью такой «живой молекулы» считали частицу нуклеопротеида вируса табачной мозаики. Но

сейчас стало очевидным, что вирусы нельзя рассматривать как промежуточный этап на пути образования жизни. Сначала должна возникнуть жизнь, а потом возникнуть вирусы.

Вероятность случайного возникновения жизни очень мала, тем не менее, эта гипотеза до сих пор широко распространена в научной литературе.

Первичная биохимическая эволюция

Среди астрономов, геологов и биологов принято считать, что возраст Земли составляет примерно 4,5–5 миллиардов лет.

По мнению многих биологов, в далеком прошлом состояние нашей планеты было мало похоже на нынешнее: по всей вероятности, температура ее поверхности была очень высокой (4000–8000^0 С), и по мере того, как Земля остывала, более тугоплавкие вещества конденсировались и образовывали земную кору. Поверхность планеты была, вероятно, голой и неровной, так как на ней в результате вулканической активности, непрерывных подвижек коры и сжатия, вызванного охлаждением, происходило образование складок и разрывов.

Полагают, что в те времена атмосфера была совершенно не такая, как теперь. Легкие газы – водород, гелий, азот, кислород и аргон – уходили из атмосферы, так как гравитационное поле нашей еще недостаточно плотной планеты не могло их удержать. Однако простые соединения, содержащие (среди прочих) эти элементы, должны были удерживаться; к ним относятся вода, аммиак, двуокись углерода и метан. До тех пор пока температура Земли не упала ниже 100^0 С, вся вода, вероятно, находилась в парообразном состоянии. Атмосфера была, по-видимому, «восстановительной», о чем свидетельствует наличие в самых древних горных породах Земли металлов в восстановленной форме, таких, как двухвалентное железо. Более молодые горные породы содержат металлы в окисленной форме, например, трехвалентное железо. Отсутствие в атмосфере кислорода было, вероятно, необходимым условием для возникновения жизни; лабораторные опыты показывают, что, как это ни парадоксально, органические вещества (основа живых организмов) гораздо легче создаются в восстановительной среде, чем в атмосфере, богатой кислородом.

В 1923 г. А.И. Опарин высказал мнение, что атмосфера первичной Земли была не такой, как сейчас, а примерно соответствовала сделанному выше описанию. Исходя из теоретических представлений, он полагал, что органические вещества, возможно, углеводороды, могли создаваться в океане из более простых соединений; энергию для этих реакций синтеза, вероятно, доставляла интенсивная солнечная радиация (главным образом ультрафиолетовая), падавшая на Землю до того, как образовался слой озона, который стал задерживать большую ее часть. По мнению Опарина, разнообразие находившихся в океанах простых соединений, площадь поверхности Земли, доступность энергии и масштабы времени позволяют предположить, что в океанах постепенно накопились органические вещества и образовался тот «первичный бульон», в котором могла возникнуть жизнь. Эта идея была не нова: в 1871 г. сходную мысль высказал Ч. Дарвин: «Часто говорят, что все необходимые для создания живого организма условия, которые могли когда-то существовать, имеются и в настоящее время. Но если (ох, какое это большое «если») представить себе, что в каком-то небольшом теплом пруду, содержащем всевозможные аммонийные и фосфорные соли, при наличии света, тепла, электричества образовался бы химическим путем белок, готовый претерпеть еще более сложные превращения, то в наши дни такой материал непрерывно пожирался бы или поглощался, чего не могло случиться до того, как появились живые существа».

В 1953 г. Стенли Миллер в ряде экспериментов моделировал условия, предположительно существовавшие на первобытной Земле. В созданной им установке, снабженной источником энергии, ему удалось синтезировать многие вещества, имеющие важное биологическое значение, в том числе ряда аминокислот, аденин и простые сахара, такие как рибоза. После этого Орджел в Институте Солка в сходном эксперименте синтезировал нуклеотидные цепи длиной в шесть мономерных единиц (простые нуклеиновые кислоты).

Позднее возникло предположение, что в первичной атмосфере в относительно высокой концентрации содержалась двуокись углерода. Недавние эксперименты, проведенные с использованием установки Миллера, в которую, однако, поместили смесь CO_2 и H_2O и только следовые количества других газов, дали такие же результаты, какие получил Миллер. Теория Опарина завоевала широкое признание, но она оставляет нерешен-

ными проблемы, связанные с переходом от сложных органических веществ к простым живым организмам. В этом аспекте теория биохимической эволюции предлагает общую схему, приемлемую для большинства современных биологов. Однако они не пришли к единому мнению о деталях этого процесса.

Опарин полагал, что решающая роль в превращении неживого в живое принадлежала белкам. Благодаря амфотерности белковых молекул, они способны к образованию коллоидных гидрофильных комплексов – притягивают к себе молекулы воды, создающие вокруг них оболочку. Эти комплексы могут обособляться от всей массы воды, в которой они суспензированы (водной фазы), и образовывать своего рода эмульсию. Слияние таких комплексов друг с другом приводит к отделению коллоидов от водной среды – процессу, называемому *коацервацией* (от лат. coacervus – сгусток или куча). Богатые коллоидами коацерваты, возможно, были способны обмениваться с окружающей средой веществами и избирательно накапливать различные соединения, особенно кристаллоиды. Коллоидный состав данного коацервата, очевидно, зависел от состава среды. Разнообразие состава «бульона» в разных местах вело к различиям в химическом составе коацерватов и поставляло таким образом сырье для «биохимического естественного отбора».

Предполагается, что в самих коацерватах входящие в их состав вещества вступали в дальнейшие химические реакции; при этом происходило поглощение коацерватами ионов металлов и образование ферментов. На границе между коацерватами и внешней средой выстраивались молекулы липидов (сложные углеводороды), что приводило к образованию примитивной клеточной мембраны, обеспечивавшей коацерватам стабильность. В результате включения в коацерват предсуществующей молекулы, способной к самовоспроизведению, и внутренней перестройки покрытого липидной оболочкой коацервата могла возникнуть примитивная клетка. Увеличение размеров коацерватов и их фрагментация, возможно, приводило к образованию идентичных коацерватов, которые могли поглощать больше компонентов среды, так что этот процесс мог продолжаться. Такая предположительная последовательность событий должна была привести к возникновению примитивного самовоспроизводящегося гетеротрофного организма, питавшегося органическими веществами первичного бульона.

Природа самых первых организмов

Данные, которыми мы сейчас располагаем, позволяют думать, что первые организмы были гетеротрофами, так как только гетеротрофы могли использовать имевшиеся в среде запасы энергии, заключенные в сложных органических веществах первичного «бульона». Химические реакции, необходимые для синтеза питательных веществ, слишком сложны, поэтому они вряд ли могли возникнуть у самых ранних форм жизни.

Предполагается, что по мере образования в ходе «биохимической эволюции» более сложных органических веществ некоторые из них оказались способными использовать солнечную радиацию как источник энергии для синтеза новых клеточных материалов. Возможно, что включение этих веществ в уже существующие клетки позволило последним синтезировать новые клеточные материалы, так что им больше не надо было поглощать органические вещества – клетки стали автотрофными. Возрастание численности гетеротрофов должно было привести к уменьшению пищевых ресурсов первичного бульона, и возникшая конкуренция ускорила появление автотрофов.

Самые первые фотосинтезирующие организмы, хотя и использовали в качестве источника энергии солнечную радиацию, были лишены метаболического пути, ведущего к образованию молекулярного кислорода. Полагают, что на более позднем этапе возникли организмы, способные к фотосинтезу с выделением кислорода, подобные современным сине-зеленым водорослям, и это привело к постепенному накоплению кислорода в атмосфере. Увеличение количества O_2 в атмосфере и его ионизация с образованием озонового слоя уменьшили количество ультрафиолетовой радиации, достигающей Земли. Это привело к замедлению синтеза новых сложных веществ, но одновременно повысило устойчивость преуспевающих форм жизни. Изучение физиологии современных организмов выявило большое разнообразие биохимических путей, участвующих в связывании и освобождении энергии, которые, возможно, отражают первые эксперименты, проводившиеся природой на живых организмах.

Несмотря на все сказанное выше, проблема возникновения жизни остается нерешенной, и при всех огромных успехах биохимии ответы на вопросы носят умозрительный характер. Читателю был предложен в упрощенном виде сплав из имеющихся

гипотез. Гипотеза, которая могла бы стать «руководящей» и превратиться во всеобъемлющую теорию, пока не разработана. Подробности перехода от сложных неживых веществ к простым живым организмам покрыты тайной.

Переход от простых живых организмов к более сложным и развитие сложных организмов, возникновение новых организмов, новых структур, форм и видов пытались объяснить многие естествоиспытатели. Одни из них считали, что организмы практически не изменялись, другие рассматривали изменения форм и видов живых организмов как постепенный эволюционный процесс, происходивший под действием различных факторов. В разработке гипотез и теорий развития жизни принимали участие многие ученые, такие как Ж. Кювье, Ж.Б. Ламарк, Дж. Уоллес, Ч. Дарвин, В. Иогансен, Г. Мендель и многие другие.

Концепция катастроф Ж. Кювье

В первой четверти XIX века были достигнуты большие успехи в таких областях биологической науки, как сравнительная анатомия и палеонтология. Основные заслуги в развитии этих области биологии, особенно в сравнительной анатомии, принадлежат французскому ученому Ж.Л. Кювье. Он систематически проводил сравнение строения и функций одного и того же органа или целой системы органов через все разделы животного царства. Исследуя строение органов позвоночных животных, Кювье установил, что все органы животного представляют собой части единой целостной системы. Вследствие этого строение каждого органа закономерно соотносится со строением всех других. Ни одна часть тела не может изменяться без соответствующего изменения других частей. Это означает, что каждая часть тела отражает принципы строения всего организма. Так, если у животного имеются копыта, вся его организация отражает травоядный образ жизни: зубы приспособлены к перетиранию грубой растительной пищи, челюсти имеют определенную форму, желудок многокамерный, очень длинный кишечник и т.д. Соответствие строения органов животных друг другу Кювье назвал принципом корреляций (соотносительности). Принцип корреляций Кювье успешно применил в палеонтологии. Он восстанавливал облик давно исчезнувшего организма по сохранившимся до наших дней отдельным фрагментам.

В процессе своих исследований Кювье заинтересовался историей Земли, земных животных и растений. В результате огромной работы он пришел к следующим выводам:

- Земля на протяжении своей истории изменяла свой облик;
- Одновременно с изменением Земли изменялось и ее население;
- Изменения земной коры происходили и до появления живых существ.

Кювье был убежден в невозможности возникновения новых форм жизни и доказал, что современные нам виды живых организмов не изменились, по крайней мере со времен фараонов. Но самым существенным возражением против теории эволюции Кювье считал видимое отсутствие переходных форм между современными животными и теми, останки которых находили при раскопках.

Многочисленные палеонтологические данные, тем не менее, неопровержимо свидетельствовали о смене форм животных на Земле. Реальные факты вступали в противоречие с библейской легендой. Сначала сторонники неизменности живой природы объясняли такие противоречия тем, что вымерли те животные которых Ной не взял в свой ковчег во время всемирного потопа. Ненаучность этого заключения была опровергнута тогда, когда была установлена разная степень древности вымерших животных. Тогда Кювье выдвинул теорию катастроф. Согласно этой теории, причиной вымирания были периодически происходившие крупные геологические катастрофы, уничтожавшие на больших территориях растительность и животных. Потом эта территория заселялась видами, проникавшими из соседних областей.

Последователи и ученики Кювье, развивая его учение, пошли дальше, утверждая, что катастрофы охватывали весь земной шар. После каждой катастрофы следовал новый акт божественного творения. Таких катастроф и актов творения они насчитывали 27.

Теория катастроф получила, в свое время, достаточно широкое распространение. Но целый ряд ученых очень критически относился к ней.

Различные эволюционные концепции

Концепция эволюции занимает особое место в изучении истории жизни. Она стала той объединяющей теорией, которая служит фундаментом для всей биологии. Эволюция подразумевает всеобщее постепенное развитие, упорядоченное и последовательное. Применительно к живым организмам эволюцию можно определить как развитие сложных организмов из предшествующих более простых организмов с течением времени.

Представление об эволюции ведет свое начало не от Дарвина с его книгой «Происхождение видов». Еще задолго до Дарвина попытки человека объяснить очевидное разнообразие окружающих его живых организмов парадоксальным образом привлекали его внимание к чертам структурного и функционального сходства между ними. Выдвигались различные эволюционные гипотезы, чтобы объяснить это сходство, и такие идеи сами «эволюционировали» по мере развития науки.

История развития эволюционной концепции показывает, что концепция непрерывности или постепенного развития более сложных видов из предшествующих более простых форм возникла у ряда философов и естествоиспытателей еще до формального провозглашения в начале XIX в. эволюционных гипотез.

Концепция эволюции Ламарка

Французский биолог Ламарк в 1809 г. выдвинул гипотезу о механизме эволюции, в основе которой лежали две предпосылки: упражнение и неупражнение частей организма и наследование приобретенных признаков. Изменения среды, по его мнению, могут вести к изменению форм поведения, что вызовет необходимость использовать некоторые органы или структуры по-новому или более интенсивно (или, наоборот, перестать ими пользоваться). В случае интенсивного использования органа, его эффективность и (или) величина будут возрастать, а при неиспользовании может наступить дегенерация и атрофия. Эти признаки, приобретенные индивидуумом в течение его жизни, согласно Ламарку, наследуются, т.е. передаются потомкам.

С точки зрения ламаркизма, длинная шея и длинные ноги жирафа – результат того, что многие поколения его некогда ко-

ротконогих и короткошеих предков питались листьями деревьев, за которыми им приходилось тянуться все выше и выше. Незначительное удлинение шеи и ног, происходившее в каждом поколении, передавалось следующему поколению, пока эти части тела не достигли своей нынешней длины. Перепонки между пальцами у водоплавающих птиц и форму тела камбалы объясняли таким же образом. Перепонки возникли в результате постоянного раздвигания пальцев и растягивания кожи между ними при плавании в поисках пищи или для спасения от хищников, а уплощенное тело – из-за лежания на боку на мелководье.

Таким образом, для ламаркизма характерны два основных методологических признака:

- телеологизм – присущее организмам стремление к совершенствованию;
- организмоцентризм – признание организма элементарной единицей эволюции, прямо приспосабливающейся к изменению внешних условий и передающей эти изменения по наследству.

Также важно отметить, что Ламарк особо выделял значение психического фактора в процессах приспособления высших животных, которые стремятся к своему изменению.

Хотя концепция Ламарка способствовала подготовке почвы для принятия эволюционной концепции, его взгляды на механизм изменения не получили широкого признания.

Однако Ламарк был прав, подчеркивая роль условий жизни в возникновении фенотипических изменений у данной особи. Например, занятия физкультурой увеличивают объем мышц, но хотя эти приобретенные признаки затрагивают фенотип, они не являются генетическими, не могут передаваться потомству. Для того чтобы доказать это, Вейсман на протяжении многих последовательных поколений отрезал мышам хвосты. По концепции Ламарка вынужденное неупотребление хвостов должно было бы привести к их укорочению у потомков; однако этого не произошло. Вейсман постулировал, что признаки, приобретаемые сомой (телом) и приводящие к изменению фенотипа, не оказывают прямого воздействия на половые клетки (гаметы), с помощью которых признаки передаются следующему поколению. Его концепция непрерывности «зародышевой плазмы» была исторически необходима, для того чтобы стало возможным признание наследования генетических особенностей при половом размножении.

Дарвин, Уоллес и происхождение видов. Естественный отбор

Чарлз Роберт Дарвин родился в 1809 г. Он был сыном состоятельного врача и, подобно многим великим людям, вначале как ученый особенно не выделялся. В 1831 г. он принял предложение отправиться в качестве натуралиста (без жалования) в путешествие на военном корабле «Бигль», который уходил на пять лет в море для проведения топографических съемок у восточного побережья Южной Америки. «Бигль» возвратился в Фалмут в октябре 1836 г., проделав путь вдоль берегов Чили, через Галапагосские острова, Таити, Новую Зеландию, Тасманию и Южную Африку. Большую часть этого времени Дарвин занимался геологическими исследованиями; однако во время пятинедельного пребывания на Галапагосских островах его внимание привлекло сходство между флорой и фауной этих островов и материка. Особенно его заинтересовало распространение черепах и вьюрков. Он собрал множество данных об изменчивости организмов, которые убедили его в том, что виды нельзя считать неизменяемыми. После возвращения в Англию Дарвин занялся изучением практики разведения голубей и других пород домашних животных, что привело его к концепции искусственного отбора, однако он все еще не мог представить себе, каким образом отбор мог бы действовать в природных условиях. В 1778 г. священник Томас Мальтус опубликовал свой труд «Трактат о народонаселении», в котором ярко обрисовал, к чему мог бы привести рост населения, если бы он ничем не сдерживался. Дарвин перенес его рассуждения на другие организмы и обратил внимание на то, что, несмотря на их высокий репродуктивный потенциал, численность популяций остается относительно постоянной. Сопоставляя огромное количество сведений, он начал понимать, что в условиях интенсивной конкуренции между членами популяции любые изменения, благоприятные для выживания в данных условиях, повышали бы способность особи размножаться и оставлять плодовитое потомство, а неблагоприятные изменения, очевидно, невыгодны, и у обладающих ими организмов шансы на успешное размножение понижались бы. Эти соображения послужили остовом для теории эволюции путем естественного отбора, сформулированной Ч. Дарвином в 1839 г.

В сущности, наибольший вклад Ч. Дарвина в науку заключается не в том, что он доказал существование эволюции, а в том, что он объяснил, как она может происходить.

Тем временем другой естествоиспытатель, А. Уоллес, много путешествовавший по Южной Америке и островам юго-восточной Азии и тоже читавший Мальтуса, пришел к тем же выводам о естественном отборе, что и Ч. Дарвин.

В 1858 г. А. Уоллес изложил свою теорию на 20 страницах и послал их Дарвину. Это стимулировало и ободрило Дарвина, и в июле 1858 г. Ч. Дарвин и А. Уоллес выступили с докладами о своих идеях на заседании Линнеевского общества в Лондоне. Спустя год с небольшим, в ноябре 1859 г., Ч. Дарвин опубликовал «Происхождение видов путем естественного отбора». Все 1250 экземпляров книги были проданы в первый же день, и говорят, что по своему воздействию на человеческое мышление она уступала только Библии.

Естественный отбор

Согласно Дарвину и Уоллесу, механизмом, с помощью которого из предшествовавших видов возникают новые виды, служит естественный отбор. Эта гипотеза (или теория) основана на трех наблюдениях и двух выводах, которые можно сформулировать следующим образом:

Наблюдение 1. Особи, входящие в состав популяции, обладают большим репродуктивным потенциалом.

Наблюдение 2. Число особей в каждой данной популяции примерно постоянно.

Вывод 1. Многим особям не удается выжить и оставить потомство. В популяции происходит «борьба за существование».

Наблюдение 3. Во всех популяциях существует изменчивость.

Вывод 2. В «борьбе за существование» те особи, признаки которых наилучшим образом приспособлены к условиям жизни, обладают «репродуктивным преимуществом» и производят больше потомков, чем менее приспособленные особи.

Вывод 2 содержит гипотезу о естественном отборе, который может служить механизмом эволюции.

Доказательства существования естественного отбора

Наблюдение 1. Мальтус привлек внимание к репродуктивному потенциалу человека и отметил, что численность народонаселения возрастает по экспоненте. Способность к размножению свойственна всему живому и представляет собой ту основную силу, которая обеспечивает сохранение вида. Это относится к самым разным организмам. Если бы каждая женская гамета была оплодотворена и развилась в половозрелую особь, Земля через несколько дней оказалась бы перенаселенной.

Наблюдение 2. Численность всех популяций ограничивается или контролируется различными факторами среды, такими как пищевые ресурсы, пространство и свет. Размеры популяций возрастают до тех пор, пока среда еще может выдерживать их дальнейшее увеличение, после чего достигается некое равновесие. Численность колеблется вокруг этого равновесного уровня. Таким образом, величина популяции обычно остается относительно постоянной в течение периода времени, продолжительность которого зависит от продолжительности жизненного цикла данного организма.

Вывод 1. Непрерывная конкуренция между индивидуумами за факторы среды приводит к «борьбе за существование». Происходит ли конкуренция в пределах одного вида (внутривидовая конкуренция) или между представителями разных классов (межвидовая конкуренция), не имеет значения в смысле ее влияния на численность популяции, но в любом случае некоторые организмы не смогут выжить или оставить потомство.

Наблюдение 3. Изучение жуков в студенческие годы в Кембридже, наблюдения, сделанные во время путешествия на «Бигле», и знания, приобретенные при разведении и селекции голубей с целью выработки определенных признаков, убедили Дарвина в важном значении внутривидовой изменчивости. А адаптивное значение межвидовой изменчивости, обнаруженной у галапагосских вьюрков (род Geospiza), дало Дарвину ключ к его второму выводу. Материалы, собранные Уоллесом на Малайском архипелаге, подтверждали существование межпопуляционных различий. Однако Дарвин и Уоллес не смогли выявить источники всех этих форм изменчивости. Вопрос оставался неясным до тех пор, пока Мендель не открыл корпускулярную приро-

ду наследственности и не показал, каким образом сохраняются генетические различия.

Вывод 2. Поскольку все особи в пределах данной популяции подвержены изменчивости и поскольку ясно, что неизбежна «борьба за существование», из этого следует, что особи, обладающие определенными признаками, будут более приспособлены к тому, чтобы выжить и оставить потомство. Решающий фактор, определяющий выживание, – это приспособленность к среде. Любое, пусть самое незначительное физическое, физиологическое или поведенческое изменение, дающее одному организму преимущество перед другими, будет действовать в «борьбе за существование» как селективное преимущество (термин «селективное преимущество» имеет не столь эмоциональную окраску, как термин «выживание наиболее приспособленных», созданный философом и социологом Гербертом Спенсером). Благоприятные изменения будут передаваться следующим поколениям, а неблагоприятные отметаются (элиминируются) отбором, так как они не выгодны организму. Действуя таким образом, естественный отбор ведет к повышению «мощности» вида, а в филогенетическом плане – обеспечивает его выживание (если условия среды остаются постоянными). Вся суть теории естественного отбора Дарвина и Уоллеса в наиболее сжатом виде выражена самим Дарвином: «Так как рождается гораздо больше особей каждого вида, чем может выжить, и так как между ними поэтому часто возникает борьба за существование, то из этого следует, что любое существо, если оно хотя бы незначительно изменится в направлении, выгодном для него в сложных и нередко меняющихся условиях его жизни, будет иметь больше шансов выжить и, таким образом, будет сохраняться естественным отбором. В силу действия закона наследственности всякая сохраненная отбором разновидность будет размножаться в своей новой, видоизмененной форме» (Дарвин, 1859).

Теория эволюции, сформулированная Дарвином, обросла множеством неверных представлений; поэтому необходимо сделать следующие замечания:

1. Дарвин не пытался объяснить возникновение жизни на Земле; его интересовало, каким образом из существующих видов могут возникать новые виды.

2. Естественный отбор – это не просто негативная, разрушающая сила; он может быть механизмом, с помощью которого в популяцию вносятся позитивные новшества. В процессе попу-

ляризации идеи «борьбы за существование» распространялись неудачные выражения, такие как «выживание наиболее приспособленных» и «устранение неприспособленных», введенные философом Гербертом Спенсером и подхваченные тогдашней прессой.

3. Упрощенная, слишком прямолинейная трактовка прессой концепции о «происхождении человека от обезьяны» болезненно задевала чувства как клерикальных, так и мирских слоев общества. Церковь рассматривала это как оскорбление ее учения о том, что бог создал человека «по своему образу и подобию», а общество было возмущено принижением «высокого» положения человека в царстве животных.

4. Явное противоречие между описанным в Книге Бытия сотворением Вселенной за шесть дней и концепцией постепенного формирования все новых видов еще более обострилось после заседания Британской ассоциации по распространению научных знаний, состоявшегося в июне 1860 г. На этом заседании епископ Оксфордский Самуэль Уилберфорс неистово обрушился на выводы Дарвина, изложенные в «Происхождении видов», но, поскольку он не был биологом, его выступление страдало неточностями. Заключая свою речь, епископ обратился к одному из защитников дарвиновской теории – профессору Томасу Гексли – с вопросом, считает ли он себя связанным с обезьянами предками через дедушку или бабушку. В ответ на это Гексли изложил основные идеи Дарвина и указал на искажения, допущенные Уилберфорсом. В заключение он дал понять, что предпочел бы иметь своим предком обезьяну, чем «находиться в родстве с человеком, который использует большие таланты для того, чтобы затемнять истину». Эта досадная дискуссия продолжалась и известна под названием «Книга Бытия против Эволюции». Профессор Р. Дж. Берри охарактеризовал крайние группировки в этих дебатах следующим образом:

а) те, кто преклоняется перед учеными и считает, что библейская история опровергнута;

б) те, кто остается под влиянием Священного писания и собственной его интерпретации и закрывает глаза на тот факт, что творение господа бога можно изучать научными методами.

Теорией Дарвина завершились длительные поиски естествоиспытателей объяснения многим чертам сходства, наблюдаемым у организмов, относящимся к разным видам. Дарвин объяснил это сходство родством и доказал, как идет образование но-

вых видов, как происходит эволюция – направленный процесс, связанный с выработкой приспособлений по мере прогрессивного усложнения строения и функций животных и растений.

С возникновением дарвинизма на первый план биологических исследований выдвинулись четыре задачи:

- сбор доказательств самого факта эволюции;
- накопление данных об аддитивном характере эволюции и единстве организационных и приспособительных признаков;
- экспериментальное изучение взаимодействия наследственной изменчивости, борьбы за существование и естественного отбора как движущей силы эволюции;
- изучение закономерностей видообразования и макроэволюции.

Основные успехи в развитии эволюционной теории были достигнуты во второй половине XIX века в двух областях. Был доказан принцип эволюции на фактическом материале из разных областей эволюционной биологии. Было доказано, что эволюция имеет адаптивный характер, и положено начало изучению отбора как причины формирования адаптаций. Но это было лишь косвенным доказательством эволюционной теории. Одной из главных причин возникновения антидарвинизма была слабая экспериментальная база дарвинизма, которая позволила бы на практике доказать, что отбор действительно является основной движущей силой адаптациогенеза и видообразования.

Антидарвинизм конца XIX – начала XX века

Критика дарвинизма велась со дня его возникновения. Многим ученым не нравилось, что изменения, по Дарвину, могут идти во всех направлениях и случайным образом. Одни из них утверждали, что изменения происходят не беспорядочно и случайно, а по законам форм, другие придерживались идеи, в соответствии с которой взаимопомощь являлась более важным фактором эволюции, чем борьба. Рост антидарвинизма имел вполне объективные причины: из поля зрения дарвинистов выпал ряд фундаментальных, важных для эволюционной теории вопросов, ради решения которых она создавалась. Это причины сохранения в историческом развитии системного единства организмов, меха-

низмы включения в эволюционный процесс онтогенетических перестроек, неравномерность темпов эволюции, причины макро- и прогрессивной эволюции, крупномасштабные события в эпохи биологических кризисов.

Основными течениями антидарвинизма в те годы были неоламаркизм и концепции телеогенеза.

Неоламаркизм – первое крупное антидарвинистское течение, возникшее еще в конце девятнадцатого века. Это течение основывалось:

- на признании адекватной изменчивости, возникающей под непосредственным или косвенным влиянием факторов среды и обеспечивающей прямое приспособление организма к ним;
- на идее наследования приобретенных таким образом признаков;
- на негативном отношении к созидательной роли естественного отбора.

Разновидностями неоламаркизма были:

- механоламаркизм (Г. Спенсер, Т. Эймер), который рассматривал концепцию эволюции, согласно которой целесообразная организация создается путем прямого или «функционального» приспособления (упражнения органов по Ламарку). Вся сложность эволюционного процесса сводилась к простой теории равновесия сил, по существу заимствованной из ньютоновской механики;
- психоламаркизм (А. Паули, А. Вагнер) – основу которого составили идеи Ламарка о значении в эволюции животных таких факторов, как привычки, усиление воли, сознание, присущие не только животным, но и составляющим их клеткам. Таким образом, эволюция представлялась как постепенное усиление роли сознания в развитии от примитивных существ до разумных форм жизни, что развивало учение о панпсихизме (всеобщей одушевленности);
- ортоламаркизм (К. Негели, Э.Коп, Г. Осборн) – представлял совокупность гипотез, развивающих идею Ламарка о стремлении организмов к совершенствованию как внутренне присущей всему живому движущей силе эволюции. Именно они определяли прямолинейность эволюции.

Крупнейшим представителем неоламаркизма в нашей стране был Т.Д. Лысенко, согласно которому наследственность рассматривалась как свойство всего организма.

Телеологическая концепция эволюции (телеогенез) идейно была связана с ортоламаркизмом, так как исходила из той же идеи Ламарка о внутреннем стремлении всех живых организмов к прогрессу. Наиболее видным представителем телеологического течения был русский естествоиспытатель К. Бэр.

Модификацию телеологической концепции представляли взгляды сторонников сальтационизма, заложенного в 1860 –1870 годах А. Зюссом и А. Келликером. По их мнению, уже на заре появления жизни возник весь план будущего развития, а влияние внешней среды определяло лишь частные моменты эволюции. Все крупнейшие эволюционные события – от возникновения новых видов до смены биот в геологической истории Земли – происходят в виде скачкообразных изменений, прежде всего преобразований эмбриогенеза (сальтациях или макромутациях). По сути дела, это модифицированная дополнительными аргументами теория катастроф. Но эти взгляды существуют до сих пор.

Ценность этого направления заключается в том, что оно обращает внимание на специфичность макроэволюции, на значение внутренней конституции организмов как факторов, ограничивающих возможные пути дальнейшего эволюционного развития, а также на неравномерность темпов эволюции и возможность замены в ее ходе одних факторов другими.

В начале двадцатого века возникает учение о наследственности и наследуемости измененных признаков (генетика). Основателем генетики считается Г. Мендель, ставивший свои опыты еще в 1860-х годах. Но датой рождения генетики считается 1900 г., так как в это время Г. де Фриз, К. Корренс и Э Чермак вторично установили правила наследования признаков в поколениях гибридных форм, открытые Менделем еще в 1865 г. Выступление генетиков против учения Дарвина вылилось в широкий фронт, в результате чего в эволюционной теории возник глубокий кризис. Возник так называемый генетический антидарвинизм, объединяющий несколько течений: мутационизм, гибридогенез, преадапционизм и др. Открытие устойчивости генов трактовалось как их неизменность, что способствовало распространению антиэволюционизма. Мутационная изменчивость отождествлялась с эволюционными преобразованиями, что ис-

ключало необходимость процесса отбора, как главной причины эволюции.

Вершиной антидарвиновских выступлений генетиков была теория номогенеза Л.С. Берга, разработанная в 1922 году. В основе ее лежит идея, о том что эволюция есть запрограммированный процесс реализации внутренних, имманентных живому организму закономерностей. Берг считал, что живым организмам присуща внутренняя сила неизвестной природы, действующая целенаправленно, независимо от внешней среды, в сторону усложнения организмов. В доказательство Берг приводил много данных по конвергентной и параллельной эволюции разных групп растений и животных.

Современные представления об эволюции

Теория эволюции, предложенная Дарвином и Уоллесом, была расширена и разработана в свете современных данных генетики, палеонтологии, молекулярной биологии, экологии и этологии и получила название неодарвинизма. Неодарвинизм можно определить как теорию органической эволюции путем естественного отбора признаков, детерминированных генетически.

Термин «эволюция» может означать как сам этот процесс, так и его результат; соответственно разные аспекты неодарвинизма опираются на доказательства разного типа. Для того чтобы признать сформулированную выше неодарвинистскую эволюционную теорию, необходимо:

1) установить факт изменения форм жизни во времени (эволюция в прошлом);

2) выявить механизм, производящий эволюционные изменения (естественный отбор генов);

3) продемонстрировать эволюцию, происходящую в настоящее время («эволюция в действии»).

Свидетельствами эволюции, происходившей в прошлом, служат ископаемые остатки организмов и стратиграфия. Данные о механизме эволюции получают путем экспериментальных исследований и наблюдений, касающихся естественного отбора наследуемых признаков и механизма наследования, демонстрируемого классической генетикой (работы Менделя на горохе и др.). Наконец, сведения о действии этих процессов в наше время

дает изучение популяций современных организмов, например, исследование видообразования у серебристой чайки, а также результаты искусственного отбора и генной инженерии, такие как создание новых сортов пшеницы или получение моноклональных антител.

Не существует пока твердо установленных законов эволюции; у нас есть лишь хорошо подкрепленные фактическими данными гипотезы, которые в совокупности составляют достаточно обоснованную теорию. Преждевременное принятие современных концепций как неких догматических истин на достигнутом сейчас уровне, равно как и на любом уровне научного исследования, может подавить интеллектуальный рост и поиски истины. Некритическое принятие ряда представлений эволюционной теории служит тому примером. Некоторые из событий, приводимых в качестве доказательств эволюционной теории, могут быть воспроизведены в лаборатории, однако это не значит, что они действительно имели место в прошлом; они просто свидетельствуют о возможности таких событий. В современных научных дискуссиях об эволюции обсуждается не сам факт ее существования, а то, что она происходит путем естественного отбора случайно возникающих мутаций.

Подтверждения теории эволюции

Сведения, подтверждающие современные сведения об эволюции, поступают из самых разных источников, среди которых главное место занимают палеонтология, биогеография, систематика, селекция растений и животных, морфология, изучение адаптивной радиации, сравнительная эмбриология и сравнительная биохимия.

Большую часть данных, приводимых в этой главе, не была доступна Дарвину и Уоллесу в то время, когда они публиковали свои статьи о происхождении видов путем естественного отбора. Многие великие ученые обладают большими способностями к индукции, чем к дедукции, основанной на наблюдении и эксперименте, однако у Дарвина и Уоллеса, по-видимому, имелось удачное сочетание того и другого. Дарвин так пишет о совмещении этих двух подходов:

«В октябре 1838 г., т.е. спустя 15 месяцев после того, как я начал свое систематическое исследование, я взялся читать про-

сто для развлечения работу Мальтуса о народонаселении, и поскольку длительные наблюдения над жизнью животных и растений вполне подготовили меня к тому, чтобы оценить происходящую повсеместно борьбу за существование, я вдруг понял, что в таких условиях благоприятные изменения должны сохраняться, а неблагоприятные отметаться. Результатом всего этого должно быть формирование новых видов. Итак, я, наконец, получил теорию, с которой можно работать».

Представленные здесь данные в значительной мере подтверждают теорию эволюции путем естественного отбора, хотя и не могут быть бесспорными доказательствами. Эти данные получены в разных областях знания, и их интерпретация во всех случаях исходит из предположения о достоверности принятой здесь концепции эволюции. Большая часть этих данных подтверждает доводы в ее пользу, полученные из других источников. Среди них немало также доказательств, в свою очередь нуждающихся в подтверждении, а также исключений или сведений, которым можно дать иную интерпретацию; однако концепция эволюции в широком смысле основана на огромном количестве научных сведений, которые на нашем уровне изложения трудно представить в понятной и притом совершенно свободной от догматизма форме.

Современная теория эволюции значительно отличается от дарвиновской по целому ряду важнейших научных положений

- в ней ясно выделяется элементарная структура, с которой начинается эволюция. Такой элементарной структурой принято считать популяцию, а не отдельную особь или вид, который включает в себя несколько популяций. Популяция – это совокупность всех представителей данного вида, занимающих определенную область в одно и то же время;
- в качестве элементарного проявления процесса эволюции современная теория рассматривает устойчивое изменение генотипа популяции;
- она более аргументированно и обоснованно истолковывает факторы и движущие силы эволюции, выделяя из них основные и неосновные.

К основным факторам процесса эволюции Дарвин и последующие теоретики относили изменчивость, наследственность и борьбу за существование. Сейчас к этим факторам добавляют множество других неосновных факторов, которые также оказы-

вают свое влияние на процесс эволюции. К основным факторам относят также мутационные процессы, популяционные волны численности и изоляцию. В целом историю развития эволюционных взглядов можно привести в виде таблицы 4.2.

Таблица 4.2

История эволюционных идей

ДРЕВНИЙ КИТАЙ	
Конфуций	Жизнь возникла из одного источника путем постепенного развертывания и разветвления
АНТИЧНАЯ ЭПОХА И СРЕДНЕВЕКОВЬЕ	
Диоген	Все вещи – результат дифференциации одной и той же вещи и подобны ей
Эмпедокл	Воздух, земля, огонь и вода – четыре корня всего сущего. Жизнь возникла в результате действия сил притяжения и отталкивания между этими четырьмя элементами. Пытался объяснить происхождение Вселенной, растений, животных и человека (впервые высказал зачатки идеи об эволюции органического мира)
Демокрит	Живые существа возникли на Земле путем самозарождения из ила
Анаксагор	Организмы возникли из «зародышей», носящихся в воздухе
Фалес (640–546 гг. до н.э.)	Все живое происходит из воды
Анаксимандр	Растения, затем животные и, наконец, человек возникли из тины на формировавшейся Земле
Аристотель (640–546 гг. до н.э.)	Сформулировал теорию непрерывного и постепенного развития живого из неживой материи, основанную на его наблюдениях над животными. Создал представление о «лестнице природы» применительно к

	миру животных
СРЕДНЕВЕКОВЬЕ (400–1400 н.э.)	Теории, основанные на более ранних концепциях, перечисленных выше, или признание креационизма
ВРЕМЯ УМОЗРИТЕЛЬНЫХ ПОСТРОЕНИЙ (1400–1790)	
Джон Рей (1627–1705)	Создал концепцию вида
Карл Линней (1707–1778)	Ввел биномиальную систему номенклатуры. Считал, что роды были созданы по отдельности, а виды представляют собой варианты родов
Бюффон (1707–1788)	Высказал мнение, что разные типы животных имеют различное происхождение и возникли в разное время. Признавал влияние внешней среды и наследование приобретенных признаков
Джеймс Хаттон (1726–1797)	Теория униформизма. Исчислял возраст Земли миллионами лет
ВРЕМЯ СОЗДАНИЯ ТЕОРИЙ (1790–1900)	
Эразм Дарвин (1731–1802)	Жизнь возникла из одной «нити», созданной богом. Не признавал отдельного сотворения человека. «Нить» эволюционировала в результате наследования приобретенных признаков
Жан-Батист Ламарк (1744–1829)	Наследование приобретенных признаков (воздействие внешней среды на организмы и передача фенотипических признаков потомству). Концепция упражнения и неупражнения органов
Жорж Кювье (1762–1832)	Использование палентологической летописи. Ископаемые остатки – результаты «катастроф», после которых создавались новые виды
Уильям Смит	Возражал против теории катастроф Кю-

(1797–1875)	вье, основываясь на непрерывном распространении сходных видов в близких по возрасту слоях
Чарлз Лайель (1795–1875)	Продемонстрировал прогрессивные изменения ископаемых остатков
Чарлз Дарвин (1809–1882)	Находился под влиянием идей Лайеля и Мальтуса. Сформулировал теорию эволюции в результате естественного отбора
Альфред Рассел Уоллес (1823–1913)	Сформулировал теорию, сходную с дарвиновской, но не включал в нее человека
Гуго де Фриз (1848–1935)	Открыл существование наследуемых мутаций, составляющих основу дискретной изменичивости; считал, что виды возникают в результате мутаций
Август Вейсман (1834–1914)	Показал, что половые клетки обособлены от остального организма и поэтому не подвержены влияниям, действующим на соматические ткани
Грегор Мендель (1822–1884)	Генетические исследования (опубликованы в 1865 г.), получившие признание только после 1900 г. Открыл законы наследственности
ДВАДЦАТЫЙ ВЕК (НЕОДАРВИНИЗМ)	
И.Л. Иогансен	Фенотипические признаки определяются генотипом и факторами среды
Т. Хант Морган	Создал хромосомную теорию наследственности, основанную на генетических и цитологических данных
Г. Дж. Меллер (1927)	Генотип может изменяться под действием рентгеновских лучей: индуцированные мутации
Р.А. Фишер (1930)	Изменения, изучаемые генетиками, аналогичны изменениям, выявляемым в палеонтологической летописи
Дж.У. Бидл и *Э.Л. Татум* (1941)	Продолжая работы А. Геррода (1909) и Дж. Холдейна (1935), выявили генетическую основу процессов биосинтеза
Дж. Ледерберг	Продемонстрировали ценность бактерий

и *А.Д. Херши* (1951)	как объектов для изучения генотипических изменений
Дж. Уотсон и *Ф. Крик* (1953)	Предложили модель молекулярной структуры ДНК и механизма ее репликации
Ф. Жакоб, Ж. Моно (1961)	Открыли механизм регуляции генной активности

Можно сделать вывод, что современное эволюционное учение свою главную задачу видит в возможности углубленного познания механизма эволюционных процессов предсказать возможности эволюционных преобразований и на этой основе управлять процессами эволюции. Огромную роль для решения этой задачи играет генетика.

Основы генетики

Центральным понятием генетики является «ген». Генами называют многочисленные различные единицы, из которых слагается вся совокупность генетической информации индивидуума. Каждый живой организм представляет собой неповторимую индивидуальность, потому что неповторима имеющаяся у каждого человека комбинация генов. Гены несут в себе информацию о том, какие белки и в каком соотношении должны вырабатывать наши клетки, а также о том, как будет сказываться на их образовании и взаимодействии та среда, в которой развивается и живет организм. Ген - элементарная единица наследственности, характеризующаяся рядом признаков. Ген – внутриклеточная молекулярная структура. По химическому составу - это нуклеиновые кислоты, в составе которых основную роль играют азот и фосфор. Гены, как правило, располагаются в ядрах клеток. Они имеются в каждой клетке. Поэтому их общее количество в крупных организмах может достигать многих миллиардов.

Генетика изучает два фундаментальных свойства живых систем: наследственность и изменчивость, то есть способность живых организмов передавать свои признаки и свойства из поколения в поколение, а также приобретать новые качества. Наследственность создает непрерывную преемственность признаков, свойств и особенностей развития в рядах поколений. Изменчивость обеспечивает материал для естественного отбора, создавая как новые варианты признаков, так и бесчисленные

комбинации прежде существовавших и новых признаков живых организмов.

Признаки и свойства организма, передающиеся по наследству, фиксируются в генах – участках хромосомы, определяющих возможность развития одного элементарного признака или синтез одной белковой молекулы. Хромосомы состоят из белка и дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). Совокупность всех внешних признаков организма называется фенотипом, а совокупность всех генов одного организма называется генотипом. Фенотип представляет собой результат взаимодействия генотипа и окружающей среды.

В основу генетики положены законы наследственности, обнаруженные Г. Менделем при проведении опытов по скрещиванию различных сортов гороха. Скрещивание двух организмов называется гибридизацией. Потомство от скрещивания двух особей с различной наследственностью называется гибридным, а отдельная особь – гибридом. В честь заслуг Менделя законы генетики названы его именем.

Первый закон Менделя говорит о том, что при скрещивании двух организмов, относящихся к двум разным чистым линиям (двух гомозиготных организмов - в их генотипах есть два абсолютно идентичных по последовательности нуклеотидов гена), отличающихся друг от друга одной парой альтернативных признаков, все первое поколение гибридов (FI) окажется единообразным и будет нести признак одного из родителей. Выбор этого признака зависит от того, какой из генов является доминантным, а какой рецессивным. Мутация (замена или потеря части нуклеотида в молекуле ДНК) может возникнуть в разных частях одного и того же гена. Это может происходить как в разных половых клетках одного организма, так и в клетках разных организмов. Таким путем образуется несколько аллелей одного гена и соответственно несколько вариантов одного признака (например, несколько аллелей по гену окраски глаз). Совокупность всех вариантов каждого из генов, входящих в состав генотипов определенной группы особей или вида в целом, называется генофондом. Это видовой, а не индивидуальный признак.

Второй закон Менделя говорит о том, что при скрещивании двух потомков первого поколения между собой (двух гетерозиготных организмов – признак записывается как Аа) во втором поколении наблюдается расщепление в определенном числовом

отношении: по фенотипу 3:1, по генотипу 1:2:1 (**Аа +Аа = АА + 2Аа +аа).**

Третий закон Менделя гласит, что при скрещивании двух гомозитных особей, отличающихся друг от друга по двум и более парам альтернативным признаков, гены и соответствующие им признаки наследуются независимо друг от друга и комбинируются во всех возможных сочетаниях.

Важным этапом в развитии генетики было создание хромосомной теории наследственности (Г. Морган). Морган выявил закономерности наследования признаков, гены которых находятся в одной хромосоме: они наследуются совместно. Это называется сцеплением генов (закон Моргана). Морган заметил, что у любого организма признаков много, а число хромосом невелико. Следовательно в каждой хромосоме должно находиться много генов.

Генетика ответила на вопрос о происхождении половых отличий. Так у человека из 23 пар хромосом 22 пары одинаковы и у мужского и у женского организма, а одна пара – различна. Именно благодаря этой паре и различаются два пола. Эту пару хромосом называют половыми хромосомами (одинаковые хромосомы называют аутосомами). Половые хромосомы у женщин одинаковы и их называют Х-хромосомами. У мужчин половые хромосомы различны: одна Х-хромосома, вторая – Y-хромосома. Для каждого человека решающую роль в определении пола играет Y-хромосома. Если яйцеклетка оплодотворяется сперматозоидом, несущим Х-хромосому, развивается женский организм. Если же в яйцеклетку проникает сперматозоид, несущий Y-хромосому, то развивается мужской организм.

Следующим важным этапом в развитии генетики стало открытие роли ДНК в передаче наследственной информации в 30-х годах XX века. Началось раскрытие генетических закономерностей на молекулярном уровне, зародилась новая дисциплина – молекулярная генетика. В ходе исследований было установлено, что основная функция генов – в кодировании синтеза белков. В результате исследований стало ясно, что для синтеза белков вместе с ДНК необходимо наличие РНК. Это видно из того, что ДНК остается в ядре эукариотических клеток, РНК находится в протоплазме, т.е. там где протекает синтез белка. ДНК и РНК построены из одних и тех же мономерных нуклеотидов, но между ними имеются и некоторые различия:

- несколько различаются входящие в их состав сахара (РНК содержит рибозу, а ДНК – дезоксирибозу);
- три азотистых основания: аденин (А), гуанин (Г), цитозин (Ц) в нуклеотидах ДНК и РНК одинаковы. Четвертое же основание у этих у этих двух нуклеиновых кислот отличается. В состав РНК входит урацил (У), в состав же ДНК входит сходное с (У) основание тимин (Т);
- молекулы РНК одноцепочечные, а у ДНК – духцепочечные. Но молекула РНК может образовывать петли. Такие участки ее структуры напоминают двухцепочечные, так как часть оснований на одной ветви петли соединяется водородными связями с основаниями на другой ее же ветви.

РНК синтезируется на матрице ДНК. Этот процесс называется транскрипция (переписывание). При этом часть двойной спирали ДНК раскручивается, и вдоль одной из ее цепей движется особый фермент, который выстраивает нуклеотидные мономеры РНК против их партнеров на цепи ДНК и соединяет эти мономеры друг с другом с образованием длинной цепи РНК. Правила спаривания оснований соблюдаются и в этом случае, т.е гуанин спаривается с цитозином, а тимин ДНК спаривается с аденином РНК. Урацил РНК спаривается с аденином ДНК. На матрице ДНК образуются три типа РНК:

- матричная (мРНК), в которой передается генетическая инструкция по синтезу полипептидов от ДНК к белоксинтезирующему аппарату – рибосомам;
- транспортная (тРНК), которая доставляет к рибосомам аминокислоты, из которых строится полипептидная цепь. Причем, каждую аминокислоту переносит особый, именно для нее предназначенный вид тРНК.
- рибосомная (рРНК), являющаяся главным компонентом рибосом.

В клеточной ДНК имеются гены, ответственные за синтез всех трех типов РНК, но только гены матричной РНК содержат информацию по синтезу белков (рис. 4.2).

Молекула мРНК образуется в результате транскрипции одного из генов, так, что в ней содержится та же информация по синтезу полипептида, что и в этом гене. Процесс, с помощью

которого генетическая информация мРНК превращается в структуру полипептида, называют трансляцией (переводом).

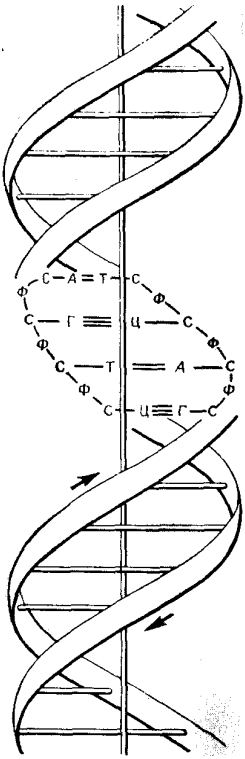


Рис.4.2. Схема строения важнейшего биополимера дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). Молекула ДНК представляет собой двойную спираль; буквами обозначены входящие в нее нуклеотиды.

За исследования ДНК и РНК в 1952 году Дж. Бидл, Э. Тейтум и Дж. Ледерберг были удостоены Нобелевской премии.

Затем была установлена тонкая структура генов (1950 год, С. Бензер), молекулярный механизм функционирования генетического кода, был понят язык, на котором записана генетическая информация (азотистые основания: аденин (А), тимин (Т), цитозин (Ц), гуанин (Г), пятиатомный сахар и остаток фосфорной

кислоты. При этом А всегда соединяется с Т другой цепи ДНК, которая представляет собой две нити, скрученные в спираль, а Г – с Ц). Расшифрован механизм репликации (передачи наследственной информации) ДНК. Известно, что последовательность оснований в одной нити в точности предопределяет последовательность оснований в другой (принцип комплиментарности), выполняя функцию своеобразной матрицы. При размножении две спирали старой молекулы ДНК расходятся, и каждая становится матрицей для воспроизводства новых цепей ДНК. Каждая из двух дочерних молекул обязательно включает в себя одну старую полинуклеотидную цепь и одну новую. Удвоение молекул ДНК происходит с удивительной точностью, чему способствует двухцепочное строение молекулы – новая молекула абсолютно идентична старой. В этом заключается глубокий смысл, потому что нарушение структуры ДНК, приводящее к искажению генетического кода, сделало бы невозможным сохранение и передачу генетической информации, обеспечивающей развитие присущих организму признаков. Спусковым механизмом репликации является наличие особого фермента – ДНК-полимеразы.

Рассмотрев генетические механизмы наследственности, необходимо перейти к генетическим закономерностям изменчивости, являющейся основой для естественного отбора и эволюции организмов.

Изменчивостью называют способность живых организмов приобретать новые признаки и свойства, она отражает взаимосвязь организма с внешней средой. Различают наследственную, или генетическую, изменчивость, и ненаследственную, или модификационную, изменчивость.

Пределы модификационной изменчивости называют нормой реакции; они обусловлены генотипом. Эта изменчивость зависит от конкретных условий среды, в которой находится отдельный организм и дает возможность приспособиться к этим условиям (в пределах нормы реакции). Такие изменения не наследуются.

Открытие способности генов к перестройке, изменению является крупнейшим открытием современной генетики. Эта способность к наследственной изменчивости получила в генетике название *мутации* (от лат. mutatio – изменение). Она возникает вследствие изменения гена или хромосом и служит единст-

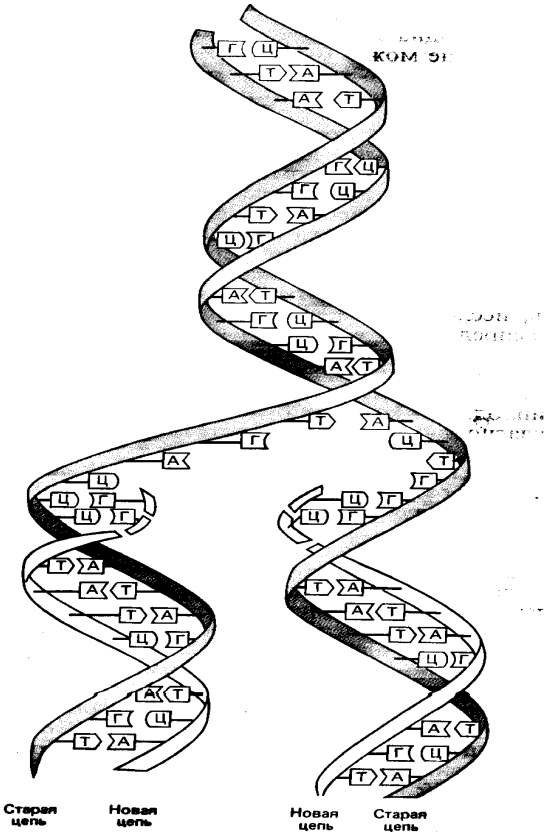


Рис. 4.4. Схема репликации молекул ДНК

венным источником генетического разнообразия внутри вида. Причиной мутации служат различные физические (космические лучи, радиоактивность и т.д.) и химические (разнообразные токсические соединение) причины – *мутагены*. Благодаря постоянному мутационному процессу возникают различные варианты генов, составляющие резерв наследственной изменчивости. Большая часть мутаций по характеру рецессивна и не проявляется у гетерозигот. Это очень важно для существования вида. Ведь мутации оказываются, как правило, вредными, поскольку вносят нарушения в тонко сбалансированную систему биохимических превращений. Обладатели вредных доминантных мута-

ций, сразу же проявляющихся в гомо- и гетерозиготном организмах, часто оказываются нежизнеспособными и погибают на самых ранних этапах жизни.

Но при изменении условий внешней среды, в новой обстановке, некоторые ранее вредные рецессивные мутации, составляющие резерв наследственной изменчивости, могут оказаться полезными, и носители таких мутаций получают преимущество в процессе естественного отбора.

Изменчивость может быть обусловлена не только мутациями, но и сочетаниями отдельных генов и хромосом, например, при половом размножении – генетическая рекомбинация. Рекомбинация также может происходить за счет включения в геном клетки новых, привнесенных извне, генетических элементов – мигрирующих генетических элементов. В последнее время было установлено, что даже само их внедрение в клетку дает мощный толчок к множественным мутациям.

Генетический код

Белки выполняют в организме множество функций: они катализируют биохимические реакции, осуществляют все виды клеточных движений, создают различные компоненты клеточных органелл, иными словами, от них зависит вся жизнедеятельность организма. Насколько эффективно работает тот или иной белок, зависит от его структуры, сама же структура, в конечном счете, определяется последовательностью аминокислот в его полипептидных цепях. Напомним, что молекулы некоторых белков состоят из более чем одной полипептидной цепи; молекула гемоглобина, например, состоит их четырех полипептидных цепей. Сначала синтезируются отдельные полипептиды, а затем происходит сборка полипептидов в белок.

Биохимики пришли к заключению, что генетическая информация должна – прямо или косвенно – определять последовательность аминокислот в полипептидах, а тем самым и их структуру. Поскольку ДНК и полипептиды представляют собой линейные (неразветвленные) молекулы, естественно напрашивается мысль, что порядок нуклеотидов в ДНК определяет порядок аминокислот в полипептидах (табл. 4.3).

Таблица 4.3

Возможные сочетания по два при четырехбуквенном коде

Четыре буквы кода
А
Ц
Г
У
16 сочетаний из четырех букв по две
АА АЦ АГ АУ
ЦА ЦЦ ЦГ ЦУ
ГА ГЦ ГГ ГУ
УА УЦ УГ УУ

Но каким же образом аминокислотная последовательность полипептида закодирована в структуре молекулы ДНК? В ДНК четыре вида нуклеотидов, и, значит, «алфавит» генетического кода состоит, очевидно, из четырех букв. Поскольку в белках встречается 20 различных аминокислот, ясно, что каждая не может определяться только одной такой буквой, ибо в этом случае 16 «лишних» аминокислот вообще не имели бы шансов попасть в белок. Не могут «слова» генетического языка определяться и двумя буквами, потому что из четырех букв могут состоять не более 16 пар, что все еще слишком мало. Число же различных сочетаний по три (триплетов) из четырех букв равно 64, а этого уже хватает с избытком. Наименьшая возможная длина «слова», определяющего ту или иную аминокислоту в «генетическом языке», - это три нуклеотида.

К началу 60-х годов накопилось уже довольно много данных в пользу триплетности генетического кода. Неизвестно было, однако, какой триплет кодирует каждую конкретную аминокислоту. Биохимикам удалось разработать методику приготовления искусственных РНК с известной последовательностью нуклеотидов. Когда эти искусственные РНК вводили в растворы, содержащие рибосомы, аминокислоты, транспортные РНК и прочие вещества, необходимые для белкового синтеза, они направляли синтез полипептидов.

В 1961 г. ученые обнаружили, что в присутствии искусственной РНК, содержащей одни только урациловые нуклеотиды, синтезируется полипептидная цепь, состоящая из остатков одной-единственной аминокислоты, а именно, из фенилаланина.

Таблица 4.4

Кодоны информационной ДНК[1)]

Первое основание	Второе основание								Третье основание
	У		Ц		А		Г		
У	УУУ	Фен	УЦУ	Сер	УАУ	Тир	УГУ	Цис	У
	УУЦ	Фен	УЦЦ	Сер	УАЦ	Тир	УГЦ	Цис	Ц
	УУА	Лей	УЦА	Сер	УАА	Стоп	УГА	Стоп	А
	УУГ	Лей	УЦГ	Сер	УАГ	Стоп	УГГ	Три	Г
Ц	ЦУУ	Лей	ЦЦУ	Про	ЦАУ	Гис	ЦГУ	Арг	У
	ЦУЦ	Лей	ЦЦЦ	Про	ЦАЦ	Гис	ЦГЦ	Арг	Ц
	ЦУА	Лей	ЦЦА	Про	ЦАА	Глн	ЦГА	Арг	А
	ЦУГ	Лей	ЦЦГ	Про	ЦАГ	Глн	ЦГГ	Арг	Г
А	АУУ	Иле	АЦУ	Тре	ААУ	Асн	АГУ	Сер	У
	АУЦ	Иле	АЦЦ	Тре	ААЦ	Асн	АГЦ	Сер	Ц
	АУА	Иле	АЦА	Тре	ААА	Лиз	АГА	Арг	А
	АУГ	Мет	АЦГ	Тре	ААГ	Лиз	АГГ	Арг	Г
Г	ГУУ	Вал	ГЦУ	Ала	ГАУ	Асп	ГГУ	Гли	У
	ГУЦ	Вал	ГЦЦ	Ала	ГАЦ	Асп	ГГЦ	Гли	Ц
	ГУА	Вал	ГЦА	Ала	ГАА	Глу	ГГА	Гли	А
	ГУГ	Вал	ГЦГ	Ала	ГАГ	Глу	ГГГ	Гли	Г

[1)] Чтобы найти аминокислоту, определяемую данным кодоном, начните со строки, относящейся к первому основанию кодона (слева), и двигайтесь вдоль этой строки до столбца, расположенного под вторым основанием кодона. Здесь найдите третье основание кодона – в крайнем правом столбце. Три стоп-кодона отмечают положение, в котором рибосома прекращает считывание мРНК и обрывает синтез полипептидной цепи. Кодон АУГ служит сигналом для начала синтеза полипептида.

Для аминокислот приняты следующие сокращения: Ала – аланин; Арг – аргинин; Асн – аспаргин; Асп –т аспаргиновая кислота; Вал – валин; Гис – гистидин; Гли – глицин; Глн – глутамин; Глу – глутаминовая кислота; Иле – изолейцин; Лей – лейцин; Лиз – лизин; Мет – метеонин; Про – пролин; Сер – серин; Тир – тирозин; Тре – треонин; Три – триптофан; Фен – фенилаланин; Цис – цистеин.

Стало ясно, что кодовому «слову» УУУ в РНК соответствует аминокислота фенилаланин. В ДНК кодов для нее должен быть комплиментарный триплет нуклеотидов, т.е. ААА. Труднее было выявить аминокислоты, кодируемые триплетами, состоящими из разных букв; однако уже к 1965 г. был расшифрован весь генетический код.

Кодовые «слова», или *кодоны*, которые несет в себе матричная РНК, показаны в табл. 4.4. Обратите внимание, что 3 из 64 триплетов не кодируют никаких аминокислот: УАА, УАГ и УГА – это стоп-сигналы, обрывающие синтез полипептидной цепи. Число кодонов для аминокислот равно, таким образом, 61. Поскольку многие аминокислоты кодируются более чем одним кодоном, код является *вырожденным*.

Перемещаясь вдоль молекулы матричной РНК и считывая по три ее нуклеотида, можно получить кодоны, которые будут транслироваться в определенную аминокислотную последовательность. Это означает, что слова в генетическом коде для полипептидной цепи не перекрываются. Если бы код был перекрывающимся, т.е. второе слово начиналось со второй или третьей буквы первого слова и т.д., то его возможности были бы очень ограничены.

Известно также, что слова в генетическом коде стоят непосредственно друг за другом, без пробелов, которые означали бы начало и конец кодона. Закодированное сообщение должно считываться, следовательно, с какой-то определенной начальной точки, иначе вся последовательность будет прочитана неверно. Допустим, что в РНК мы имеем последовательность **УЦУАГАГЦУА**, которая, если прочитать ее слева направо, будет кодировать аминокислотную последовательность **сер-арг-ала**. Если, однако, мы начнем ее читать не с начала, а со второго нуклеотида (Ц), то получится совершенно иная аминокислотная последовательность **лей-глу-лей**.

Из сказанного выше видно, что мутация в ДНК гена может изменить и кодируемый этим геном белок. Мутация может выразиться в добавлении, утрате, перестройке или изменении одного или нескольких нуклеотидов в ДНК. Знакомясь с генетическим кодом по табл. 4.4, нетрудно заметить, что изменение третьего нуклеотида кодона часто остается без последствий: в полипептидную цепь включается та же самая аминокислота. Однако изменение первого или второго нуклеотида чаще всего приводит к

тому, что на определенное место в полипептидной цепи включается уже иная кислота, тогда как прочие аминокислоты в этом полипептиде остаются неизменными. Добавление или утрата одного из нуклеотидов может иметь катастрофические последствия, потому что вызовет сдвиг рамки считывания, а значит, и изменение всех аминокислот от места, затронутого мутацией, до самого конца полипептидной цепи. Мутации бесконечно разнообразны, и столь же разнообразно их влияние на кодируемый данным геном белок: от полного отсутствия изменений до изменений столь серьезных, что клетка уже не может синтезировать функциональный белок.

У эукариот между генами многих полипептидов вставлены участки ДНК, не содержащие информации ни для какого полипептида. Смысл такого странного расположения еще не ясен. При транскрипции, т.е. во время синтеза мРНК, участки некодирующейся ДНК тоже транскрибируются, но потом они удаляются из мРНК еще до трансляции (т.е. до ее перевода в полипептид).

Встречается и другая крайность: у некоторых вирусов, а возможно и у некоторых бактерий есть перекрывающиеся гены, имеющие общие участки ДНК. Это, по-видимому, приспособление, позволяющее сэкономить место, что особенно важно для таких крошечных существ. Конец одного гена сможет совпадать с началом другого, или один ген может заключать в себе еще какой-либо второй ген. У одного вируса обнаружено перекрывание генов, при котором два гена начинаются в одной и той же точке. Первый ген заканчивается у стоп-кодона, но белоксинтезирующий аппарат иногда перескакивает через этот стоп-сигнал и продолжает синтезировать белок вдоль матричной РНК до тех пор, пока не дойдет до второго стоп-сигнала. Вирусу нужны оба белка, как короткий, так и длинный.

Контрольные вопросы и задания

1. На какие классы делят клетки по характеру функционирования?
2. Назовите онтогенетические уровни организации живых систем.
3. Охарактеризуйте уровни организации живых систем.
4. Какие гипотезы существуют по поводу происхождения эукариотных клеток?
6. Назовите главные типы питания организмов.
7. Кто ввел термин «популяция»?
8. Какой смысл имеет термин «популяция»?
9. Как называется четвертый надорганизменный уровень?
10. Почему вопрос о происхождении жизни на Земле является одним из самых сложных?
11. Назовите имена ученых, которые разрабатывали вопрос о происхождении жизни.
12. Назовите условия, которые необходимы для возникновения жизни.
13. Какое количество аминокислот необходимо для построения белков?
14. Почему Земля оказалась пригодной для возникновения жизни?
15. Какую роль в возникновении жизни сыграла химическая эволюция?
16. Какая стадия предшествовала возникновению первых организмов?
17. Какие организмы были первыми на Земле?
18. Что называется фотосинтезом?
19. Какие организмы осуществляют фотосинтез?
20. Какова была первичная атмосфера на Земле до появления фотосинтеза?
21. Какое значение для жизни имело появление в атмосфере кислорода?
22. Приведите теории, описывающие происхождение жизни на Земле.
23. Как возникла жизнь с точки зрения креационизма?
24. Почему теория креационизма существует и в наше время?
25. В чем сущность теории биохимической эволюции?
26. Какие экспериментальные факты могут служить подтверждением теории биохимической эволюции?

27. Какова природа самых первых организмов?
28. В чем суть теорий эволюции Ламарка и Дарвина?
29. Каковы современные взгляды на теорию эволюции?
30. Приведите имена ученых, занимавшихся проблемами эво
    люции, наследственности, генетики.
31. Какова суть естественного отбора?
32. Что называется геном?
33. Сформулируйте законы Менделя.
34. Какова роль ДНК в живом организме?
35. Что называется изменчивостью?
36. Какова роль мутаций в наследственной изменчивости?
37. Каковы основные течения антидарвинизма?
38. Какова роль РНК в живом организме?
39. Каким образом кодируется последовательность аминокислот
    в структуре ДНК?
40. Чем обусловлена изменчивость организмов?

Глава 5

ЧЕЛОВЕК КАК ПРЕДМЕТ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

С давних времен многие мыслители пытались понять природу человека. Ее исследовали еще представители различных школ античной философии. Так, киники видели ее в естественном образе жизни и в ограничении желаний и материальных потребностей; Эпикур - в чувствах, общих у человека и животных; Сенека и стоики - в разуме и т.д. Современная наука рассматривает человека как сложную целостную систему, соединяющую в себе природные и социальные компоненты. Это обусловлено тем, что, с одной стороны, человек принадлежит природе, а с другой - социальному миру. А в целом он является предметом изучения различных наук. В нашем случае речь пойдет о человеке как предмете естествознания.

Первый вопрос, на который следует ответить в таком аспекте, заключается в том, как биотический организм, принадлежащий к типу хордовых, подтипу позвоночных, классу млекопитающих, отряду приматов, семейству гоминид, превращается в человека - существо не только биотическое, но и социальное, в создателя и носителя культуры.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЧЕЛОВЕКА

С XIX века в науке господствует вытекающая из теории Дарвина концепция происхождения человека от высокоразвитых предков современных обезьян. Эта концепция в XX веке получила подтверждение данными генетики, поскольку из всех животных по генетическому сходству ближе всего к человеку оказались шимпанзе. Поэтому вопрос о происхождении человека необходимо начинать рассматривать с определения сходных и отличительных признаков человека и животных.

Сходство человека с животными состоит в том, что, во-первых, у них одинаковый вещественный состав, строение организмов. Человек состоит из тех же белков и нуклеиновых

кислот, что и животные, а многие структуры и функции нашего тела такие же, как у животных. Чем выше на эволюционной шкале стоит животное, тем больше его сходство с человеком. Во-вторых, человеческий зародыш проходит в своем развитии те же стадии, которые прошла эволюция животного. И, в-третьих, у человека имеются рудиментарные органы, которые выполняли важные функции у животных и сохранились у человека, хотя уже не нужны ему.

Однако и отличия человека от животных носят фундаментальный характер. Во-первых, даже высшие животные не обладают способностью к понятийному мышлению, то есть к формированию отвлеченных, абстрактных представлений о предметах, в которых обобщены основные свойства конкретных вещей. Мышление животных, если о таковом вообще можно говорить, всегда конкретно, а мышление человека может быть абстрактным, отвлеченным, обобщающим, понятийным, логическим.

Вторым главным отличием является то, что человек обладает членораздельной речью. Опять-таки, у животных может быть очень развита система общения с помощью сигналов. Но только у человека есть то, что И.П. Павлов назвал второй сигнальной системой -общение с помощью слов. Этим человеческое общество отличается от сообщества других животных.

Третье фундаментальное отличие человека от животных - способность к труду. Конечно, все животные что-то делают, а высшие животные способны к сложным видам деятельности. Обезьяны, например, используют палки как орудие для доставания плодов. Но только человек способен изготовлять, создавать орудия труда. Именно с этим отличием связано утверждение, что животные приспосабливаются к окружающей среде, а человек преобразует ее, и что труд создал человека.

Эти фундаментальные отличия человека от животных: понятийное мышление, речь, труд - стали теми путями, по которым шло обособление человека от природы.

Рассматривая вопрос о появлении жизни на Земле, мы установили, что это стало возможным благодаря грандиозному скачку материи в эволюции Вселенной. Отмечалось также, что жизнь на нашей планете появилась в форме примитивной биосферы, развитие которой идет от ступени к ступени, скачкооб-

разно переходя в качественно новые состояния. В целом при этом образовывались все более сложные и упорядоченные формы живого вещества. В истории биосферы бывали зигзаги, временные остановки прогрессивного развития, но они никогда не переходили в стадию деградации, поворота движения вспять. Достаточно взглянуть на перечень важнейших вех в истории биосферы, чтобы убедиться в этом. После первой глобальной бифуркации в истории биосферы, какой стало само зарождение жизни, появились простейшие прокариоты (организмы, лишенные оформленного ядра). Затем настал черед значительно более высокоорганизованных эукариотов (все высшие организмы, клетки которых содержат оформленное ядро), в том числе и аэробных (кислорододышащих) организмов. Их появление было связано с большим локальным снижением энтропии, но ценой этому было уменьшение стабильности отдельного организма и появление индивидуальной смертности, закодированной в генетическом аппарате, отсутствующей ранее. Это стало еще одной точкой бифуркации в развитии биосферы Земли, как и появление гетеротрофных организмов, обладающих способностью максимального усвоения энергии, что, в свою очередь, привело к увеличению эффективности в использовании внешней энергии и материи, резко интенсифицировало естественный отбор.

Следующими точками бифуркации стали: появление многоклеточных организмов и функциональной дифференциации клеток внутри организмов; появление организмов с твердыми скелетами, открывшее путь к образованию высших животных; и, наконец, возникновение у высших животных развитой нервной системы и формирование мозга как центра сбора, переработки, хранения информации и управления на ее основе функционированием и поведением организмов.

Появление разума стало второй фундаментальной бифуркацией в истории биосферы. После этого проявилась способность материи познавать себя, что стало возможным с появлением человека и человечества.

Палеоантропологические исследования и открытия последних лет дали дополнительные доказательства того, что человек своими корнями прочно уходит в биосферу и является одним из ее многочисленных естественных созданий. Основные черты строения и эмбрионального развития человека четко определяют его как вид Homo Sapiens в типе хордовых, подтипе позвоночных, классе млекопитающих, отряде приматов подотряде человекообразных обезьян. Вместе с тем, человек имеет специфические, присущие только ему особенности: прямохождение, мощно развитую мускулатуру нижних конечностей, сводчатую стопу с сильно развитым первым пальцем, подвижную кисть руки, позвоночник с четырьмя изгибами, расположение таза под углом 60 градусов к горизонтали, очень большой и объемный мозг, крупные размеры мозгового и малые размеры лицевого черепа, бинокулярное зрение, ограниченную плодовитость и некоторые другие.

Homo Sapiens – один из представителей млекопитающих, относящихся к отряду приматов, к которым принадлежат также тупайи, долгопяты, лемуры, лорн и обезьяны, в том числе и человекообразные обезьяны (табл.5.1).

Таблица 5.1

Отряд приматов

	Представители
Низшие приматы (полуобезьяны) Promisii	Тупайи, лемуры, лори, галаго, долгопяты
Высшие приматы (обезьяны) Antropoidea	Обезьяны Американского континента, в том числе капуцины, мармозетки; Обезьяны Азиатского и Африканского континентов, в том числе макаки и павианы; Высшие узконосые обезьяны (Hominoidea) Человекообразные обезьяны: Гиббон, орангутан, горилла, шимпанзе; Люди (Hominidae):

	Australopithecus (вымерший предчеловек), Homo erestus, Homo neanderthensis, Homo sapiens.

Среди ныне живущих приматов представлены различные стадии эволюции этой группы – от животных, сходных с примитивными млекопитающими мелового периода, до крупных человекообразных обезьян и человека.

Самые характерные признаки приматов связаны с очень высоким уровнем развития некоторых отделов нервной системы, особенно тех отделов головного мозга, от которых зависит разумное поведение и способность мышц к ловким и тонким действиям. Такое развитие нервной системы тесно связано с древесным образом жизни предков приматов и многих современных форм. Для древесного образа жизни необходимы ловкость и хорошо развитые органы чувств. Так, животному особенно необходимо хорошее зрение. У большинства приматов оба глаза смотрят вперед и поэтому видят одно и тоже: два налагающихся одно на другое изображения создают объемное (стереоскопическое зрение).

Лицевая часть черепа в процессе эволюции постепенно укорачивалась. Укорочение морды сопровождалось укорочением челюстей и утратой части зубов. У приматов на всех конечностях имеется по пять пальцев, причем один палец, пусть в небольшой степени, противопоставляется другим четырем. Благодаря этому животное может легче удерживать ветку или пищу. Пальцы заканчиваются чувствительными подушечками и часто снабжены уплощенными ногтями, а не изогнутыми когтями, как пальцы других млекопитающих.

На ранних стадиях эволюции какая-то полуобезьяна, по виду напоминающая мышь, перешла к жизни на деревьях. Ныне существующие родственники этой полуобезьяны – тупайи – тоже похожи на мышей или на крыс. Наиболее продвинувшийся в эволюционном развитии представитель полуобезьян – индонезийский долгопят, живущий на деревьях и ведущий ночной образ жизни. У него огромные глаза, полностью стереоскопическое зрение, пальцы снабжены ногтями, верхняя губа покрыта волосами, как у высших приматов, лицо подвижное и выразительное. У высших приматов средством общения

служит мимика, что отражает переход к зрению как доминирующему чувству. У других млекопитающих для обмена информацией служит обоняние.

Высшие приматы (обезьяны, человекообразные обезьяны, человек) обладают стереоскопическим цветовым зрением, округлым черепом и относительно большим хорошо развитым головным мозгом, благодаря которому они способны научаться сложным формам поведения. Несмотря на то, что большинство обезьян при передвижении используют все четыре конечности, они могут подолгу сидеть выпрямившись. Кроме того, многие обезьяны могут достаточно долго находиться в вертикальном положении, когда они перебрасывают тело с ветки на ветку, цепляясь за них передними конечностями (такой способ передвижения называется брахиацией). Прямохождение сыграло огромную роль в эволюции антропоидов, так как оно освободило передние конечности, что позволило использовать их для манипуляций с пищей, ухода за детенышами и выполнению различных других функций.

В настоящее время существует только четыре рода человекообразных обезьян: гиббон, горилла, орангутан, шимпанзе. Они по строению и поведению занимают промежуточное положение между остальными обезьянами и гоминидами (представителями семейства людей). Головной мозг у человекообразных относительно крупнее, чем у других обезьян. Кроме того, у них нет хвоста, поэтому они могут сидеть, выпрямив спину. Человекообразные обезьяны, так же как и гоминиды, обладают широкой грудной клеткой. Но у обезьян передние конечности и позвоночник более приспособлены к брахиации, нижние конечности специализированы, а клыки и резцы крупнее и мощнее, чем у гоминид. Гориллы и шимпанзе много времени проводят на земле. Передвигаясь они опираются на задние конечности и на костяшки пальцев передних конечностей, что дает им возможность использовать сами пальцы для переноски пищи, камней и др.

За несколько последних десятилетий биохимики разработали методы определения эволюционного родства организмов на основе сравнения строения их хромосом и белков. Белки синтезируются в соответствии с “инструкциями”, заложенными в генах. Чем больше сходства между белками у представителей двух видов, тем более сходны их генетические

карты и тем ближе родство между видами. Белки человека и белки шимпанзе сходны на 90%. Эти данные, а также сходство в строении тела и поведении, позволяют считать шимпанзе самыми близкими родичами человека среди всех из ныне живущих организмов. Биологи не считают, что человек произошел непосредственно от шимпанзе. По их мнению, оба вида произошли от какого-то общего обезьяноподобного предка, жившего много миллионов лет назад, и их отделяют друг от друга, вероятно, несколько вымерших видов. Предковая линия, ведущая к гориллам, отделилась от линии гоминиды шимпанзе несколько раньше. Еще раньше возникла ветвь, приведшая к орангутанам.

Происхождение человека от обезьян, ведущих древесный образ жизни, предопределило ряд особенностей его строения, которые, в свою очередь, явились анатомической основой его способности к труду и дальнейшей социальной эволюции. Для животных, обитающих на ветвях деревьев, лазающих и прыгающих с помощью хватательных движений, необходимо было соответствующее строение органов: в кисти первый палец противопоставлен остальным, развитый плечевой пояс, позволяющий совершать движения с размахом 180 градусов, грудная клетка становится широкой и уплощенной в спинно-брюшном направлении. Передвижение на деревьях в самых разных направлениях с меняющейся скоростью, непрерывно меняющимися расстояниями, новой ориентировкой и новым прицелом перед прыжком привело к чрезвычайно высокому развитию двигательных отделов мозга. Необходимость точного определения расстояния при прыжках обусловило сближение глазниц в одной плоскости и появление бинокулярного зрения. В то же время жизнь на деревьях способствовала ограничению плодовитости. Уменьшение численности потомства компенсировалось тщательностью ухода за ним, а жизнь в стаде обеспечивала защиту от врагов.

Во время ледникового периода обезьянам, не отступившим к экватору вместе с тропическими лесами и перешедшим к жизни на земле, пришлось приспосабливаться к новым суровым условиям и вести тяжелую борьбу за существование

Беззащитные против хищников, неспособные быстро бегать, настигать добычу или спасаться от врагов, лишенные густой шерсти, помогающей сохранять тепло, они могли

выжить только благодаря стадному образу жизни и использованию освободившихся от передвижения рук. Решающим шагом на пути от обезьяны к человеку явилось прямохождение.

Поскольку нашими ближайшими ныне живущими родичами являются африканские человекообразные обезьяны, поиски предполагаемого общего предка этих обезьян и человека велись главным образом в Африке. В миоцене (25-13 млн лет назад) многие лесистые области превратились в открытые степи. По-видимому, в этот период какие-то обезьяноподобные формы вышли из лесов. У одного возможного предка гоминид из миоценовых отложений Африки и Азии обнаружена тенденция к хождению на двух ногах.

Современная наука о человеке (антропология) располагает большим фактическим материалом, накопленным в последарвиновский период. Уже на основе вполне реальных находок наука продолжает изучение процесса становления человека.

Как же сегодня выглядит в общем виде схема эволюции от животных к человеку?

Примерно около 60 миллионов лет тому назад на Земле из насекомоядных млекопитающих в результате влияния природной среды и естественного отбора развились полуобезьяны, которые затем довольно быстро разделились на две ветви. Одна из них вела к широконосым обезьянам, а другая — к узконосым. Вторая ветвь и привела в конце концов к человеку.

Прежде чем рассматривать эволюцию второй ветви, отметим, что современные человекообразные обезьяны отнюдь не предки человека, хотя они и появились на Земле раньше человека (более 30 миллионов лет назад). Человекообразные тоже произошли от полуобезьян в середине третичного периода (начало его отстоит от нашего времени приблизительно на 70 миллионов лет). За несколько десятков миллионов лет полуобезьяны постепенно превратились в древесных обезьян, из которых в ходе эволюции возникли виды высших человекоподобных (антропоморфных) обезьян. Одни из древнейших антропоморфных обезьян стали предками современных шимпанзе и горилл, а другие положили начало линии, которая привела к человеку.

По многим признакам древнейшие человекоподобные были

сходны с современными человекообразными обезьянами, в особенности с шимпанзе и гориллой. Вместе с тем у них, однако, имелись и существенные отличия. Так, руки человекоподобных существ были короче, а ноги — длиннее, чем у современных обезьян; отличались они размерами мозга и положением клыков.

Важное значение имеют находки, сделанные в городе Эль-Файюма, расположенном в 20 километрах южнее Каира (Египет). Из них особенно интересно для ученых животное — *парапитек* (предобезьяна) Фраасов. От этого (или от очень близкого ему) существа и ведет начало ветвь к узконосым обезьянам. Следующий этап — появление *проплиопитеков* (предков более развитых обезьян). По сравнению со своими ближайшими предшественниками они представляют собой определенный шаг вперед и являются прародителями рода *плиопитековых* (более развитых обезьян). Плиопитеки, в свою очередь, дали начало роду древесных обезьян — *дриопитеков.* Под этим названием объединяют большую группу животных, которые, в отличие от своих предшественников, имели одинаковую основную схему строения нижних коренных зубов. Ученые считают, что дриопитеки уже весьма близки к той форме, от которой впоследствии развились некоторые современные человекообразные обезьяны и человек.

Когда мы говорим о происхождении дриопитеков и их дальнейшей эволюции, то имеем в виду, что развитие человекообразных обезьян на нашей планете шло во многих местах. Причем, дриопитеки далеко не единственная известная ученым сегодня ископаемая форма человекообразных обезьян. Есть и другие подобные находки, например: сивапитек —в Индии; удабнопитек —в Грузии. А раньше в тропических лесах, возможно, жили и другие высшие и низшие обезьяны, костные останки которых наверняка лежат где-то в третичных отложениях Евразиатского материка. Однако для эволюции человека и удабнопитек, и сивапитек не имеют такого важного значения, как дриопитек. Мы упомянули их только потому, чтобы показать, как трудно было ученым разобраться во всех этих ответвлениях и выделить основную линию развития человека. И все же, несмотря на все препятствия, наука уже выявила основные вехи формирования человека из мира животных. Как это происходило?

Одним из важнейших факторов развития всего живого на Земле служили изменения природной среды. Особенно сильно воздействие их сказывалось на сравнительно недавно

возникших организмах. Приспособление к новым условиям на первых порах не вызывает каких-либо ощутимых физиологических изменений, но со временем оно приводит к явно заметным сдвигам в строении тела. В конечном счете, такие факторы оказали свое влияние на эволюцию обезьяны, превращение ее в человека. Свыше 20 миллионов лет назад дриопитеки разделились на две группы. Первые почти без изменений дожили до современности и навсегда остались в царстве животных (гориллы, шимпанзе). Судьба вторых иная: они сначала обитали на окраине лесов, а позже оказались в лесостепных районах с очень небольшим количеством леса. Перемещение их было вызвано тем, что в третичном периоде произошло некоторое похолодание климата. Оно явилось предвестником приближающейся эпохи оледенения — четвертичного периода. В результате похолодания площади, занятые джунглями, сокращались и отступали к югу. Часть дриопитеков переселялась в эти леса. А оставшиеся на старых местах вынуждены были приспосабливаться к жизни в травянистой степи с отдельными группами деревьев. Перемены природных условий вызывали, таким образом, изменения и в образе жизни дриопитеков.

Так, предки этих человекообразных обезьян издавна привыкли питаться плодами и ягодами, молодыми побегами, корнями и клубнями. Иногда они прибавляли к своему столу насекомых, птичьи яйца, червей, личинок, мелких млекопитающих. Причем большую часть жизни они проводили на деревьях, где сооружали себе и своим детенышам убежища, спасались от хищников. Теперь же дриопитеки вынуждены были:

- во-первых, постепенно перейти от лазания по деревьям и хождения на четвереньках к прямохождению по ровной местности;
- во-вторых, изменить ассортимент добываемых продуктов питания.

Сегодня многие ученые склоняются к мысли, что наиболее вероятным предком существ, развивавшихся в направлении человека, является *рамапитек,* существовавший в миоцене Останки его были найдены в Индии. (Находку назвали рамапитек в честь индийского бога Рамы: Рама и питекос — греческое слово — означает: обезьяна.) Это была, по сути, точка, в которой пути эволюции человека и высших обезьян разошлись. Рамапитек, по-видимому, жил в редком лесу и некоторую часть времени еще проводил на деревьях.

Прямохождение через многие миллионы лет привело к

специализации конечностей человекоподобных обезьян. Задние конечности распрямились в коленном суставе, кости удлинились, окрепли, пальцы укоротились, выработалась упругая сводчатая стопа. Став упругой, стопа изменила походку — уменьшились толчки при хождении. Менялась форма и положение пяточной кости, большой палец ноги стал толще и примкнул к остальным; развились сильные икроножные мыщцы. А передние конечности оказались свободными. Ими можно было хватать и удерживать добычу, брать камень или палку и т. п. Фигура обезьяны все более выпрямлялась; руки стали укорачиваться, плечи — расправляться. В результате этого процесса происходили изменения и в строении кистей рук: развивался большой палец, движения руки стали более пластичными. В конце концов рука оказалась органом, удивительно хорошо приспособленным к труду.

Прямохождение вызывало и многие другие изменения в организме наших далеких предков. Все процессы подобного рода совершались постепенно на протяжении большого периода времени. И не исключено, что при этом возникали свои сложности и затруднения. Сегодня тут ясно главное — большинство особенностей в строении тела человека связано с его прямохождением. И это, кстати, одно из самых веских доказательств, что нашими предками были крупные человекообразные обезьяны.

Огромная роль в совершавшихся изменениях, очевидно, принадлежит и образу питания. Недостаток растительной пищи в степных или полустепных зонах нужно было как-то компенсировать. Выход был найден в употреблении все большего количества мяса, в результате чего возникла необходимость в охоте на животных. Охота, особенно на крупных животных, в свою очередь требовала смекалки, хитрости, а главное — объединения усилий отдельных особей. Так начали складываться сперва стада, затем сообщества человекоподобных обезьян.

Наши предки не отличались ни особой силой, ни острыми когтями и клыками. Скорость бега их тоже была невелика. Защищаться и охотиться человекоподобным обезьянам помогала их стадная жизнь. Причем, с освобождением передних конечностей они умножали свою силу, используя палки, большие кости и камни. А это был уже, по существу, процесс перехода к зачаточным формам труда. Он возникал и развивался во многих стадах и постоянно упрочнялся, становился жизненно необходимым, закреплялся в потомстве.

Основное здесь заключалось в том, что эти животные постепенно переходили от употребления случайно найденных палок или камней к выбору *более удобных,* а затем и *изготовляемых* ими самими*,* хотя и примитивных, *орудий.*

Коллективная охота и использование орудий труда требовали новых, более совершенных способов передачи информации друг другу. Поначалу это, очевидно, были нечленораздельные выкрики, рычания и т. п. Потом появились уже членораздельные сигналы, обозначавшие вполне определенные предметы или действия.

И наконец, коллективная жизнь и труд, общение в стаде обусловили еще одно важнейшее качество: развитый мозг, что в дальнейшем привело к возникновению и развитию человеческого мышления. Зарождение и развитие этого свойства оказывало огромное влияние на эволюцию разных видов человекоподобных существ (антропоидов): оно позволяло антропоидам успешно приспосабливаться к изменяющимся условиям.

Так в общих чертах выглядит схема развития гоминидов - представителей группы человекообразных обезьян, у которых уже появились признаки, свойственные человеку.

На нашей Земле, примерно от двух до пяти миллионов лет назад, обитало несколько видов человекообразных обезьян. Ученым сегодня известны многие останки одного из представителей сравнительно развитых обезьян — *австралопитека* (южной обезьяны) (рис.5.1). Впервые его костные останки были обнаружены в 1924 году на юге Африки.

Австралопитеки по величине равны примерно современному павиану. В строении тела австралопитеков проглядывали уже некоторые признаки будущего человека: тело их было выпрямлено, они постоянно передвигались на двух ногах, руки их были свободными. Мозг достаточно велик — около 600 кубических сантиметров.

Рис.5.1. Детеныш австралопитека (Реконструкция М. М. Герасимова).

К прямым предкам современного человека австралопитеков относят не только из-за телесного сходства с ним. Эти существа уже могли изготавливать орудия труда, хотя еще чрезвычайно примитивные. Изготовление орудий — первый важнейший поворотный пункт в истории человечества. Ведь палку или камень, как известно, нередко используют и обезьяны. А вот для того, чтобы целенаправленно изготовлять орудия труда, требуется уже определенный уровень сознания. При этом, однако, надо иметь в виду, что биологические факторы в эволюции человека по-прежнему играли главную роль.

До недавнего времени считалось, что австралопитеки жили на Земле около 1 000 000 лет назад. Но в 1960 году научный мир облетела весть об открытии английского археолога Л. Лики. При раскопках в Олдовайском ущелье (Восточная Африка) Лики обнаружил останки древнего существа, которое он назвал *зинджантроп* (восточноафриканский человек). Размеры мозга зинджантропа не превышали размеров мозга австралопитеков.

Но некоторые особенности в строении тела показывали, что он — более древняя форма на пути эволюции человека. Древнее были и те геологические отложения, в которых обнаружены останки ископаемого существа.

Вскоре Лики нашел еще одно существо. Его останки залегали на большей глубине, чем останки ранее открытых существ. В строении конечностей, ключицы и кистей *презинджантроп* — так ученый назвал новую находку — тоже приближался к человеку. Особенно поразил исследователе объем мозга. Он равнялся 670—680 кубическим сантиметрам, то есть был больше, чем у австралопитека. А ведь мозг, как никакой другой орган, характеризует положение существ на эволюционной лестнице. Удивил ученых и возраст находки — около 2 миллионов лет. На территории Африки теперь известны уже около 100 местонахождений древнейших предков человека. Наиболее древнее из них лежит юго-западнее озера Рудольфа (Кения). Ученые относят его к эпохе, отстоящей от нас почти на 5 500 000 лет. В слоях почв, где находились останки презинджантропа, были найдены также грубые орудия труда из расколотой речной гальки, заостренной при помощи нескольких сколов. Установлено, что они, несомненно, использовались презинджантропом. А труд, как уже говорилось, главный показатель очеловечивания.

В науке много раз обсуждался вопрос о времени возникновения труда у предков современного человека. Некоторые ученые не считали труд отличительной чертой человеческого существа. Они полагали, что коренное отличие человек от животных определяется более высоким уровнем психического развития. Никто, конечно, не отрицает такого отличительного признака, но при этом не следует забывать, что высокий уровень человеческого сознания напрямую связан с развитием трудовой деятельности. В то же время часть ученых признает иногда орудиями труда использовавшиеся простые камни и кости, никогда не подвергавшиеся даже самой примитивной обработке. Но ведь главное тут, как уже говорилось, не в употреблении, а в изготовлении орудий труда. Накопленные археологами материалы позволяют сегодня уже достаточно четко определять признаки орудий труда, созданных человеком, и более правильно решать вопрос о времени появления труда. Пока оно датируется эпохой, когда жил презинджантроп.

Еще Геккель в своей книге “Естественная история и сотворение мира” (1868) указывал на то, что в ходе эволюции

между обезьяной и человеком должно было существовать какое-то переходное звено, обладавшее как человеческими, так и обезьяньими признаками. Это недостающее звено он назвал *питекантропом* (обезьяночеловеком). В конце прошлого века многие ученые стали искать это “недостающее звено”. Голландский антрополог Э. Дюбуа в 1891 году нашел на острове Ява на глубине 15 метров коренной зуб и черепную крышку, а спустя год — еще два фрагмента скелета человекоподобного существа. В 1894 году Дюбуа опубликовал описание своего открытия, которое назвал “питекантропом с острова Ява”. Через несколько десятков лет (с 1936 по 1939 год) на той же Яве были обнаружены еще несколько останков обезьяночеловека, а рядом с ними — грубые каменные орудия, в том числе одно, напоминающее ручное рубило.

Установлено, что питекантроп был значительно крупнее австралопитека: его рост не менее 170 сантиметров, объем мозга — 850—900 кубических сантиметров. Вспомним для сравнения, что объем мозга современных человекообразных обезьян равен 600, а человека—примерно 1400—1600 кубических сантиметров. Таким образом, питекантропа можно считать переходным звеном от обезьяны к человеку. Он жил на Земле 500—800 тысяч лет тому назад.

Прекрасным подтверждением этого вывода оказалась находка в 1919 году в Китае останков древнего человека, названного *синантропом* (китайским человеком) (рис. 5.2.). Он жил приблизительно в то же время, что и питекантроп, а объем его мозга был несколько больше.

Рядом с останками синантропов обнаружены разнообразные орудия труда, изготовленные из кварца, кварцита, кремниевой гальки, из оленьего рога и трубчатых костей. В пищу синантропы употребляли мясо около 70 видов млекопитающих. Раскопки свидетельствуют, что мясо синантропы уже поджаривали на огне. Некоторые черепа животных оказались обработанными и напоминают сосуды.

Огромным достижением синантропов явилось систематическое использование огня для обогрева и приготовления пищи. Это доказывается тем, что в одной из пещер слой золы от кострища достигал толщины 7 метров. Добывать огонь, вероятнее всего, эти предки человека еще не

Рис. 5.2. Синантроп (Реконструкция М.М. Герасимова)

умели. Костер в пещере горел, по-видимому, беспрерывно, а для разжигания его синантропы могли использовать, например, огонь лесных пожаров, возникших от удара молнии. Речи синантропы, как и питекантропы, еще не знали. Они, наверное, способны были издавать различные звуки, а может быть, могли различать и звуковые интонации. Уровень организации их общества был стадный. Это, по существу, самая древняя форма общественной жизни.

Изготовление орудий труда, использование огня и совместная охота, конечно, сыграли главенствующую роль в организации этих древнейших людей (объединительное название их — **архантропы**) в общество, еще очень примитивное, но уже спаенное родством и жизненной необходимостью быть вместе. Древнейший период в развитии человека, когда орудия труда изготавливались из камня, дерева и кости, называется каменным веком (палеолитом). Человек в это период своего существования фактически был одним из компонентов биоценоза, мало отличавшимся от животных по характеру воздействия на окружающую среду обитания.

Ранний палеолит (350-400 тыс. летназад) был временем существования поздних архантропов, которые около 350 000 лет назад сменились палеоантропами или неадартальцами.

Неандерталец назван так по месту первой находки останков этого предка человека. История находки его такова.

В Западной Германии, близ впадения в Рейн реки Дюссель, есть долина Неандерталь. В 1856 году здесь начали разрабатывать известковый карьер и при этом наткнулись на пещеру. В ней рабочие обнаружили 14 частей скелета человека, но не обратили на них внимания и выбросили все кости в долину. Местный учитель И. К. Фульрот собрал их и в следующем году выступил на съезде естествоиспытателей и врачей в Бонне с предположением о том, что это — останки вымершего типа человека. Его сообщение произвело тогда потрясающее впечатление, так как по самой своей сути ставило под сомнение религиозную догму о божественном творении человека, то есть о том, что бог создал его по своему образу и подобию, и с тех пор вид людей не мог измениться. Смущение ученых было тем более глубоким, что в то время они еще не знали о дарвиновском учении.

Шли годы. Учение великого английского естествоиспытателя получало признание все большего числа ученых. К этому времени подоспели и новые находки останков человекоподобных. В 1887 году в Бельгии, в пещере Бек-о-Рош Пюид, были найдены останки двух скелетов, схожих с человеческим, а вместе с ними — много кремниевых орудий и костей мамонта, пещерного медведя, шерстистого носорога и других животных. Кости скелетов, особенно черепа, были очень похожи на кости человека из Неандерталя. Так ученым стало ясно, что неандерталец и в самом деле один из древних предков современного человека. К настоящему времени останки неандертальцев были найдены во многих частях Старого Света — в Испании, Бельгии, Франции, Хорватии, Англии, Чехословакии, Испании, СССР, а также в Африке, на Яве и в других местах.

Изучение останков неандертальцев и их орудий труда показывает, что по уровню организации они стояли значительно ниже современных людей. Самые заметные различия обнаруживаются в строении и форме черепа. У неандертальца лоб, например, был очень покатый, надбровные дуги сильно развиты, черепная коробка — низкая, подбородок лишен выступа. Зато отличие от питекантропа разительное. Мозг неандертальца по объему уже почти приближался к человеку разумному. Левая лобная доля у него несколько больше правой. Отмеченная деталь говорит о том, что неандарталец был правшой, как и современный человек. Вообще лобные доли

черепа у неандартальцев гораздо больше, чем у других предшественников человека. Это как раз и свидетельствует об относительно более развитых умственных способностях, правда, в сравнении с современным человеком еще довольно ограниченных. Но они компенсировались хорошо развитыми анализаторами органов чувств, о чем свидетельствуют расширенные затылочные, теменные и височные доли. У неандартальца появились жилища из деревьев и костей, построенные на открытых пространствах, а также появились ритуальные действия.

Неандарталец еще не обладал развитой членораздельной речью. Вероятнее всего, он только начинал осваивать ее. Неандартальцы создали своеобразную культуру – мустьерскую культуру каменного века (150000 – 40000 лет тому назад).

В период великого оледенения, неандартальцы, для спасения от холода и хищников, селились в пещерах. Они умели изготовлять уже хорошо отделанные орудия из кремня, кости и дерева. Они охотились на больших и сильных животных (мамонты, пещерные медведи и др.). Вполне возможно, что они научились добывать огонь и использовать для одежды шкуры животных. Чрезвычайно заинтересовали ученых неандертальские погребения. Многие исследователи сегодня считают, что такие погребения — доказательство существования у неандертальцев каких-то нравственных норм. Один из крупнейших советских археологов, академик А. П. Окладников, открывший на территории нашей страны первое неандертальское погребение, пишет: “В середине и в конце мустьерского времени, к которым относятся перечисленные погребения (неандертальские*),* впервые появляется определенное и совершенно новое отношение к умершим, выраженное в намеренных и уже достаточно сложных по характеру действиях — в захоронениях трупов. В основе этого отношения лежала, несомненно, забота о сочлене своего коллектива, вытекающая из всего жизненного строя первобытной общины, из всех неписаных законов и норм поведения того времени. Это было бесспорное выражение того чувства кровной связи между сородичами, которое проходит красной нитью через всю первобытную эпоху истории человечества” *{А. П. Окладников.* Возникновение человеческого общества.— “Всемирная история”, т. I. М., 1955, стр. 48).

К концу мустьерского времени неандертальцы уже расселились на обширных пространствах Европы, Азии и Африки. В некоторых же местах они достигли даже Полярного

круга. Очевидно, суровый климат не пугал их. Они могли к нему приспосабливаться.

Неандертальцы и созданная ими культура явились, по сути, предшественниками современного человека и культур верхнего палеолита (позднего каменного века). Об этом свидетельствуют находки ученых, которые показывают, что многие черты мустьерских памятников характерны и для более поздних культур.

Постепенно неандертальцы исчезали с лица Земли. Некоторые из их видов вымерли. Процесс становления современного человека, очевидно, в большой степени связан с приспособлением к разнообразным изменениям климата, происходившим в те эпохи на Земле. Выживали те виды существ, которые могли лучше приспособиться к жизни в суровых условиях планеты, те, кто был в состоянии формировать подлинное человеческое общество, преодолевать дикие инстинкты, совершенствовать орудия труда. Вероятно, к этому времени в объединениях человекоподобных существ естественный отбор уже терял свое былое значение.

Прошли многие и многие десятки тысяч лет, прежде чем на нашей планете окончательно воцарился современный человек, Homo sapiens (человек разумный), как его именуют в науке. По месту первой находки его назвали *кроманьонцем* (1868 год, пещера Кро-Маньон во Франции).

Это были крупные люди — высотой до 180 сантиметров, с объемом черепа до 1600 кубических сантиметров. Жили они примерно от 50000 до 15000 лет тому назад. По своему внешнему виду кроманьонцы заметно отличались от неандертальцев: лоб прямой, вместо надглазного валика — надбровные дуги, явно выраженный подбородочный выступ. Это уже облик современного человека. Они изготовляли разные орудия из камня, кости и рога, в том числе составные орудия, что свидетельствует о значительном прогрессе в этой области.

Находок кроманьонцев и других родственных им типов людей в настоящее время известно много. Есть они и на территории нашей страны. Эти люди уже составляли человеческое общество со сложными общественными взаимоотношениями. Дальнейшая их история — уже особая тема, выходящая за рамки наших бесед.

При обсуждении проблемы происхождения человека и его древнейших предков возникает еще один вопрос: как произошли человеческие расы? Как известно, христианская религия на это отвечала довольно просто: расы и народы, мол,

произошли от трех сыновей Ноя — Сима, Хама и Иафета. “От них распространились народы на земле после потопа” (Бытие. 10:32).

Многочисленные исследования различных ученых показали, что этапы, которые человек проходил в своем развитии, едины для любой части нашей планеты. Расовые различия в том виде, в каком мы их видим сейчас, образовались сравнительно поздно. Они появились лишь у человека современного вида, в эпоху верхнего палеолита.

Многие считают, что появление различных рас объясняется своеобразными условиями природной среды. Как уже говорилось, условия обитания формировавшегося человека весьма значительно отличались друг от друга. Позднее, когда сложился тип современного человека, умевшего лучше защищаться от неблагоприятных воздействий внешней среды, влияние ее на человека ослабло, однако все еще продолжало сохраняться. Ведь и сейчас, например, если человек постоянно живет на юге, пигментация кожи у него отличается от пигментации кожи людей той же расы, но живущих на севере.

На заре человеческой истории удаленные друг от друга на большие расстояния отдельные группы людей почти не общались друг с другом. В результате у изолированных групп людей признаки, сложившиеся под влиянием природных условий (например, более темный цвет кожи под жарким солнцем), начинали закрепляться в потомстве, становились все более явными в данной группе. Процесс этот был очень длительным.

В ходе дальнейшей человеческой истории люди с различными внешними признаками много раз смешивались. И сегодня можно уверенно сказать: на Земле нет чистых рас. Деление на них крайне условно, человечество едино по своему происхождению и по своей природе.

Поэтому совершенно лишены каких-либо научных оснований разного рода расистские измышления о якобы существующем биологическом неравенстве различных народов. Сравнительно-анатомические исследования убедительно доказали полное сходство всех человеческих рас. Мало что общего с наукой имеют и рассуждения о происхождении различных рас от разных групп древних людей или различных подвидов более ранних предшественников человека: ведь остатки древних людей были обнаружены не только в Азии, но и в Африке, а неандертальцев — почта на всех материках Старого Света. Итак, многолетние находки и исследования ученых

убедительно показывают, что человек вышел и развился из животного мира Земли, биологически тесно с ним связан, является продуктом его эволюции. В ходе этого процесса, длившегося многие миллионы лет, одни формы наших предков сменялись другими, более высокоорганизованными. Некоторые из них вымирали, другие продолжали развиваться в главном направлении — по пути к современному человеку. Научная концепция происхождения человека нанесла сокрушительный удар по религиозным мифам о происхождении человека.

Естественный отбор шел в направлении сохранения признаков, содействовавших развитию стадности, что в свою очередь, влияло на совершенствование руки и на развитие высшей нервной деятельности, прежде всего способности к обучению. Все эти особенности обеспечили победу обезьянолюдей в борьбе за существование и привели 1,5 - 2 млн. лет назад к широкому расселению их по Африке, Средиземноморью и Азии. Использование орудий, стадный образ жизни активно способствовали развитию мозга и возникновению речи.

Признаком, отделяющим человекообразных обезьян от людей, считается масса мозга, равная 750 г. Именно при такой массе мозга овладевает речью ребенок. Речь древних людей была очень примитивной, но она выражала качественное отличие высшей нервной деятельности человека от высшей нервной деятельности животных. Слово, обозначающее действие, трудовые операции, предметы, а затем и общие понятия, стало важнейшим средством общения между людьми.

Речь способствовала более эффективному взаимодействию членов первобытного стада в трудовых процессах, передаче накопленного опыта от поколения к поколению, то есть обучению. В борьбе за существование получили преимущество те первобытные стада древних людей, которые стали заботиться о стариках и поддерживать особей, ослабевших физически, но обладающих опытом и выделяющихся своими умственными способностями. Бесполезные ранее старики, съедаемые соплеменниками при нехватке пищи, стали ценными членами общества как носители знаний. Речь также содействовала развитию процесса мышления, совершенствованию трудовых процессов, эволюции общественных отношений.

Таким образом, древнейшие люди появились около 1 млн.

лет назад и прошли эволюцию от питекантропов к неандертальцам (появившимся около 200 тыс. лет назад) и далее к кроманьонцу - современному человеку, возникшему 40 - 50 тыс. лет назад. Хорошо развитый мозг, общественный характер труда привели к резкому уменьшению зависимости кроманьонца от внешней среды, к появлению абстрактного мышления и попыткам отражения окружающей действительности в художественных образах - наскальных рисунках, резьбе по дереву и кости, а также к появлению примитивных религий. После этого эволюция человека вышла из-под определяющего влияния биотических факторов и приобрела социальный характер.

Вышеперечисленные доказательства родства человека **с** животным миром нашей планеты считаются достаточными для того, чтобы перестать обсуждать вопрос об инопланетянах - предках человека или каких-то иных возможностях появления разума на Земле. Можно также сказать, что данные генетики дают доказательства преемственности между низкоорганизованными и высокоорганизованными формами жизни. Так, установлено, что в генотипе человека примерно 95 процентов генов унаследовано от наших обезьяноподобных предков, 60 - 70 процентов генов принадлежат примитивным насекомоядным млекопитающим, послужившим исходной группой для эволюции всех приматов. В генотипе человека есть также гены, переданные через длинный ряд промежуточных форм от рыбообразных предков и т.п. Эти современные данные убедительно подтверждают биогенетический закон, говорящий о повторении в индивидуальном развитии организма всего предшествующего хода эволюции и объясняющий ряд примитивных признаков в эмбриональном развитии высших форм, их происхождением от низших.

Таким образом, появление человека стало закономерным результатом развития биосферы Земли. Более того, как говорил В.И. Вернадский, человек не есть случайное, независимое от окружающего явление. Он составляет неизбежное проявление большого природного процесса, закономерно длящегося в течение, по крайней мере, двух миллиардов лет. Именно столько времени в биосфере шел процесс цефализации (развития мозга), и он никогда не обнаруживал движения вспять. В ходе этого процесса сформировался мозг, материальная основа ра-

зума. Элементы разумного поведения обнаруживают высшие животные и некоторые птицы. Но полноценное проявление разума в биосфере присуще только человеку, так как лишь в его социальном развитии сформировалась, а затем ускоренно развивалась коллективная память - независимый от отдельного человека коллективный аппарат сбора, накопления, обобщения и хранения знания. Человек использует его для решения своих практических проблем, превратив его, в сочетании с трудовой деятельностью, в величайшую геологическую силу современности, активно преобразующую биосферу. При этом, считал Вернадский, раз создавшись и проявившись в эволюции биосферы, разум не может быть обратимым явлением, не может исчезнуть и несет в себе возможность неограниченного развития.

Преимущество человека перед другими высшими животными должно быть закреплено в материальном носителе разума - мозге. Чем же мозг человека отличается, например, от мозга его ближайших родственников - приматов? Как это ни покажется странным, но сравнительно недавно специалисты еще не могли обнаружить принципиальных различий в строении мозга человека и шимпанзе. Выделить такие отличия удалось только на новом уровне понимания строения и функционирования мозга, достигнутом в последние 30 - 40 лет. Выяснено, что простейшей структурной единицей мозга служит не нервная клетка (нейрон), как считалось раньше, а структурный ансамбль таких клеток со сложными, но фиксированными разветвлениями взаимосвязей. Один ансамбль обычно управляет или одним процессом, или одной функцией организма. Сравнительные размеры мозга различных живых организмов приведены на рис.5.1.

Эволюция мозга, его усложнение идет не только и не столько за счет количественного роста нервных клеток (хотя такой рост имеет место), сколько за счет растущей организованности, упорядоченности как отдельных структурных ансамблей, так и центров, объединяющих отдельные функции в сложные поведенческие реакции. Структурные единицы мозга развиваются в форме вертикальных колонок, включающих как

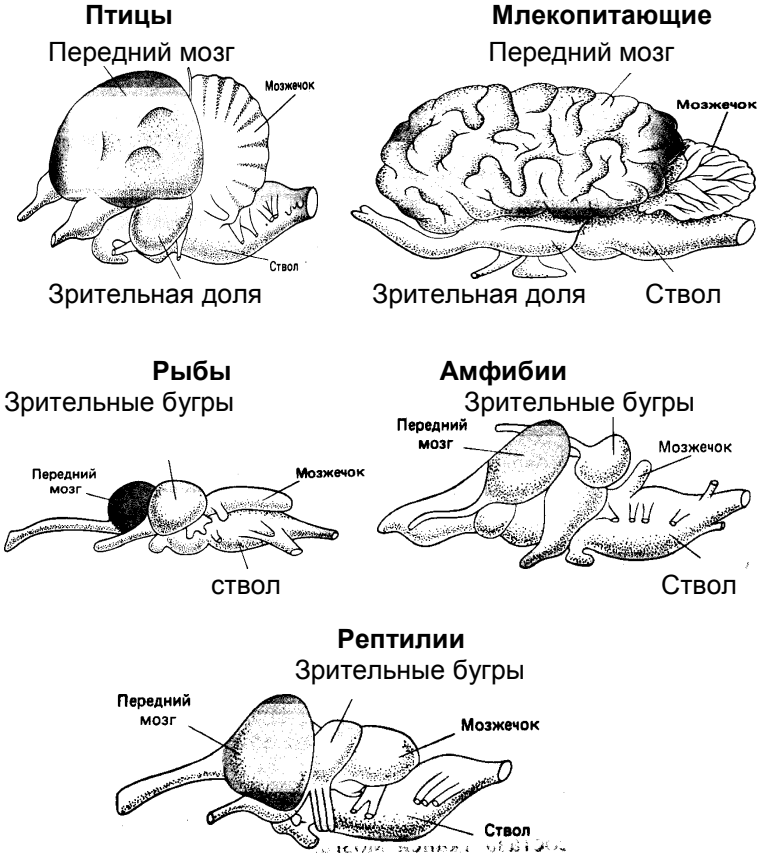


Рис. 5.1. Сравнение размеров основных отделов головного мозга у представителей разных групп позвоночных животных (вид сбоку). (Зрительная доля представляет собой область, связанную с восприятием света.) Обратите внимание на постепенное увеличение переднего мозга и мозжечка в ряду от рыб до птиц и млекопитающих. Передний конец мозга обращен влево.

клетки древних отделов мозга, расположенных в нижних пластах, так и клетки более молодых образований, располагающихся над этими пластами. Количественное увеличение ан-

самблей происходит главным образом за счет перестройки старых отделов и использования освобождающихся нервных клеток, а качественные изменения инициируются усложнением связей, увеличением их числа и широтой охвата связями клеток всего структурного ансамбля.

Структурные ансамбли мозга человека и приматов, ведающие такими функциями, как зрение, слух, двигательные реакции ног и тела, и многими другими, практически не различаются между собой. Существенные отличия выявлены в размерах и связях структурных ансамблей, ведающих у человека речью и двигательными реакциями рук, особенно кистей, чем определяется способность человека к трудовой деятельности) Выделяются у человека лобные доли, которые, согласно сложившимся представлениям, осуществляют интеграцию различных функций мозга в целенаправленные поведенческие реакции, а также участвуют в ассоциативных и обобщающих мыслительных процессах. У человека рекордная для животного мира относительная площадь лобных долей мозга, она достигает 25 процентов.

Важно отметить еще одно характерное обстоятельстве Строение ансамблей нервных клеток, их связи в мозгу программируются генетическим аппаратом. Развитость речевых и двигательно-трудовых структурных ансамблей мозга человека наследуется детьми от родителей. Но наследуется не речь и не трудовые навыки как таковые, а лишь потенциальная возможность их последующего приобретения. Генетические возможности реализуются только при условии, что с раннего детства ребенок воспитывается и обучается в сообществе людей, в постоянном общении с ними. Редкие случаи воспитания детей животными, после их возвращаения к людям, показывают, что они никогда в полной мере не смогут овладеть речью, приобрести достаточно сложные трудовые навыки, необходимые для сознательной деятельности. Поэтому история про Маугли - не более, чем красивая сказка. Генетический потенциал ограничен во времени жесткими возрастными рамками. Если сроки пропущены, потенциал гаснет, а человек остается на уровне того же примата.

В истории человечества немало примеров, показывающих, что не только отдельная личность, но и целые сообщества людей обязаны вести непрекращающуюся борьбу за овладение,

сохранение и приумножение того, что выделяет людей из животного мира. Малейшее ослабление усилий или, что еще хуже, сознательное пробуждение в людях низменных начал в ущерб разуму с поразительной быстротой ведут к потере культурных завоеваний, к возрождению дикости и агрессивности даже в условиях технической развитости.

СУЩНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА

Биологическая эволюция, как считает большинство ученых, завершилась 30 - 40 тыс. лет назад после возникновения Homo sapiens. С тех пор человек выделился из животного мира, и биологическая эволюция перестала играть решающую роль в его развитии. Определяющим фактором в развитии стала социальная эволюция, от которой сегодня зависит биологическая природа, физический облик и умственные способности человека. Одним из аргументов в пользу этого утверждения может служить динамика средней продолжительности жизни. Под влиянием социальных условий она возросла с 20 - 22 лет в древности до 30 лет в XVIII веке. К началу XX века в странах Западной Европы средняя продолжительность жизни была примерно 56 лет. Сегодня в этих странах она достигла 75 - 78 лет, а потенциалом средней продолжительности жизни, по данным науки, является 80 - 90 лет.

Кроме того, нет никаких оснований для утверждений об эволюции головного мозга человека. Его размеры остаются неизменными на протяжении 30 - 40 тыс. лет. У наших же предков в ходе биологической эволюции он увеличивался постоянно. Так, у австралопитеков размер мозга составляет 500-600 куб. см, у питекантропов - до 900 куб. см, у синантропов -до 1000 куб. см. У современного человека средний размер мозга составляет 1400 куб. см у мужчин и 1270 у женщин. При этом нет прямой зависимости между величиной мозга и способностями человека. Разрез головного мозга человека и его основные структуры приведены на рис. 5.2.

Таким образом, процесс антропогенеза завершился вместе с прекращением видообразования человека, что и произошло 30 - 40 тыс. лет назад. С этого времени заканчивается и действие группового отбора как ведущего фактора эволюции человека. Отныне все развитие человека обусловлено социальной эволюцией, в основе которой лежит развитие интеллекта и це-

лесообразной деятельности. Необходимо отметить также, что с появлением “человека разумного” генетическая информация утрачивает свое главенствующее значение, она замещается социальной информацией.

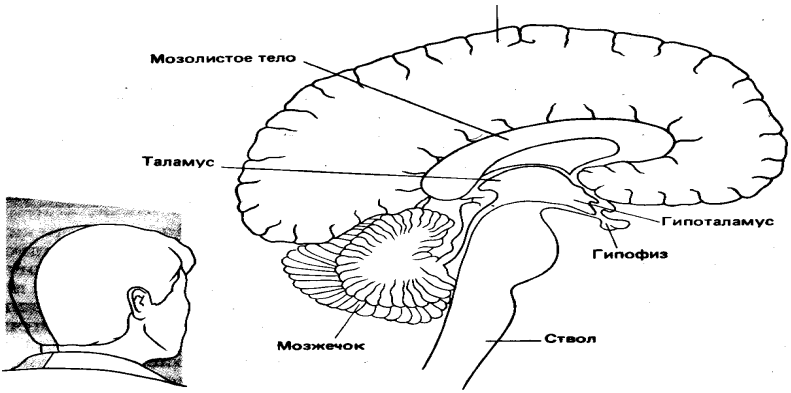


Рис. 5.2. Разрез головного мозга человека, на котором видны основные структуры, упоминаемые в тексте.

Поэтому, говоря о сущности человека, решая вопрос, что же такое человек, нельзя принимать во внимание только биологическую составляющую, игнорируя качественную специфику социальной формы движения материи. Неверным было бы также игнорирование биологического начала в человеке и преувеличение социального, растворение биологического в социальном субстрате. Это свидетельствовало бы о забвении момента преемственности между низшей и высшей формами движения материи.

Поэтому говорят о биосоциальной природе или о о социоприродной сущности человека. Биологическое и социальное выступают как генетически и функционально связанные уровни целостной организации человека. Биологическое, будучи первичным во времени, детерминирует социальное, становится предпосылкой его воспроизведения. Поэтому биологическое есть необходимое, но недостаточное условие становления и функционирования социального. И действительно, человек не может возникнуть без биологического, ибо наличие биологического - непременное

условие и обязательная предпосылка выделения человека из животного мира. Однако обезьяна не может превратиться в человека только по законам развития органического мира. Здесь нужно нечто большее. Человек приобретает свою социальную сущность не по биологическим законам, а по законам общественного развития. Таким образом, социальное приобретает относительную независимость от биологического и само становится необходимым условием своего дальнейшего существования. Появление социального - это не только утверждение генетической связи между биологическим и социальным, но и одновременно преобразование ее в связь подчинения биологического социальному.

Но выход человека из царства природы вовсе не означает абсолютного противостояния ей. Более того, человек должен, как и все живое, приспособиться к ней. Но, в отличие от животных, он достигает этого за счет изменения природы, приспособления ее для удовлетворения своих потребностей. Именно таким образом человек удерживает свою родовую сущность и превращается в общественное существо.

Общество всегда вынуждено в той или иной мере считаться с биологической основой людей, заботиться об удовлетворении возникающих на этой основе потребностей. Хотя общественный прогресс детерминируется социальными факторами, он не может игнорировать возможности человеческой биологии. Конечно, роль биологических факторов в истории является не постоянной величиной, а переменной. Видимо, в антропогенезе она имела доминирующее значение, но в процессе перехода от антропогенеза к социогенезу определяющая функция переходит к социальному фактору. С возникновением же общества происходит окончательное подчинение биологического социальному, что ни в коей мере не означает вытеснения и отмены биологического. Оно просто перестает быть ведущим. Но оно существует, и его присутствие напоминает о себе своими многообразными проявлениями. Ведь жизнедеятельность каждого отдельного человека подчинена биологическим законам. Другое дело, что потребности нашего организма мы удовлетворяем в рамках тех возможностей, которые нам предоставляются обществом, в котором мы живем.

Сохраняет свое значение и мутационный процесс как источник генотипической изменчивости. В известной мере действует стабилизирующая форма естественного отбора, устраняя

резко выраженные отклонения от средней нормы. Примером действия стабилизирующего отбора служит повышенная смертность недоношенных детей вследствие снижения их жизнеспособности, повышенная смертность мальчиков в первые годы после рождения вследствие фенотипического проявления неблагоприятных аллелей, локализованных в одной из хромосом. Благодаря существованию неблагоприятных аллелей, приводящих в гомозиготном состоянии к смерти до наступления репродуктивного возраста или препятствующих оставлению потомства, примерно половина зигот (клеток, возникающих в результате слияния двух половых клеток в процессе оплодотворения), образующихся в каждом поколении людей, не участвует в передаче генов следующему поколению и устраняется из генофонда вида. Около 20 процентов людей вследствие физических особенностей, особенностей поведения, характера, состояния здоровья не вступают в брак. Если родители плодовиты, около 15 процентов зачатых организмов гибнет до рождения, 5 процентов - при рождении и непосредственно после рождения, 3 процента людей умирает, не достигнув половой зрелости. Эти цифры показывают, как велик “груз” вредных мутаций в генофонде человечества и сколь эффективен стабилизирующий отбор, отметающий нежизнеспособные генотипы.

Человек не может игнорировать свои биологические потребности, свою телесность. И проблема сохранения здоровья людей является очень важной как для отдельного человека, так и для всего общества.

Телесность и здоровье человека

Современные биологи и антропологи, как мы уже отмечали, полагают, что биологическая эволюция человека как вида, то есть его видообразование, прекратилось со времени появления Ното sapiens. В связи с этим встает вопрос о будущих направлениях развития человека как биологического вида. При ответе на него иногда высказывается мнение, что все виды животных и растений постепенно вымрут вследствие деградации генома (генетической программы развития). По мнению большинства ученых, главная опасность при этом состоит не в ста-

рении вида, а во все большем загрязнении биосферы различного рода отходами.

Нарушение гармоничных отношений с природой может иметь опасные и даже трагические последствия для уже живущего и будущих поколений людей. Нарастание числа проблем, связанных с состоянием окружающей среды и истощением ресурсов Земли, кризисы, с которыми столкнулось человечество - следствие и свидетельство неверного пути развития. Чтобы избежать катастрофы, необходимо осознать естественные экологические принципы и правила, которые сегодня разрабатываются экологией человека и социальной экологией.

Экология человека исследует адаптационные возможности его организма. Биологическая опасность для жизни современного человека заключается, во-первых, в том, что он не обладает гомеостазом, соответствующим его самым разнообразным связям с окружающей средой. Так, он не приспособлен к радиации, поскольку защитный механизм боли, являющийся наиболее общим предупреждающим сигналом, не реагирует на облучение. А, кроме того, опасность заключается в том, что несмотря на огромные адаптационные возможности человека в сравнении с другими видами живых организмов, они все-таки не поспевают за изменением окружающей среды.

Социальная экология изучает взаимоотношение общества и окружающей среды. Она стремится определить причины появления экологического кризиса. Биология утверждает, что уменьшение биологического разнообразия опасно для устойчивости биосферы, а человек, добиваясь повышения ее продуктивности, нарушает эти принципы. Он стремится взять как можно больше от природы, природа же стремится не к максимальной продуктивности, а к максимальной устойчивости.

В силу своих родовых качеств человек должен бороться с природой. Но в этой борьбе не может быть победителей, потому что человек является частью биосферы и, уничтожая природу, человек губит самого себя, не замечая этого, как он не замечает радиоактивного излучения.

Все эти проблемы важны прежде всего потому, что здоровый человек свободен в своих поступках, в удовлетворении своих материальных и духовных потребностей (в рамках тех возможностей, которые ему дает общество). Болезнь же ограничивает человеческую свободу, добавляя к общественным ог-

раничениям поступков человека рамки его собственного тела. Поэтому отношение человека к своему телу не может быть просто отношением к некой природной, естественной объективности - человек встречается с необходимостью, ее языком и властью. И власть эта, запечатленная в телесной организации человека, отличается особой жестокостью и императивностью. Практически каждый человек имел возможность убедиться в этом - достаточно вспомнить ощущение абсолютной беспомощности, которое охватывает человека в моменты достаточно тяжелых болезней. Можно сказать, что телесность выступает как поток жизни, как жизнедеятельность человека в целом. А тело является статическим аспектом телесности, от которого человек никак и никогда не сможет избавиться, пока он живет. Ведь зачатием человек бросается в поток жизни помимо своей воли. Момент смерти также наступает в свой черед независимо от желаний человека. Каждая стадия возрастных изменений принудитель- но ввергает человека в новую жизненную ситуацию. На первый взгляд, у человека есть шанс достичь свободы, самостоятельно поставив под свой контроль продолжение собственной жизни. Но, если у римского гражданина Сенеки, даже тиран Нерон не мог отнять права свободного человека и гражданина самому распорядиться своей жизнью, то современное общество в подобном праве гражданину отказывает. Тяжело больной человек не имеет права потребовать у врача яд для самоубий- ства. Врач, уступивший просьбе больного, совершает преступ- ление по законам любой страны. Человеку отказано в праве распоряжения жизнью. Многие религии также активно способствуют формированию у людей таких взглядов. Зато это право принадлежит государству, применяющему смертную казнь, ведущему войны.

Таким образом, становится очевидным, что проблемы телесности, функционирования человеческого тела являются важной частью картины мира, а также предметом медицины, науки, изучающей причины возникновения болезней человека' закономерности их развития, методы их распознавания и лечения, а также формы оптимальной организации медицинской помощи населению.

Естественно, медицина не всегда была наукой, но всегда существовала как часть человеческой культуры, занимающаяся

проблемами здоровья человека. Являясь частью культуры определенного народа и определенной эпохи, медицина в разное время по-разному объясняла причины болезней и рекомендовала разные способы их лечения.

Если сделать диахронный срез истории медицины, то мы увидим в ней четыре основных варианта моделей болезни: магико-анимистическую, мистико-религиозную, натурфилософскую и естественнонаучную.

Магико-анимистические представления были связаны с мифологической картиной мира. Существенным их моментом было понимание болезни не как естественного явления, а как проявления чуждых человеку сверхнатуральных сил. Болезнь рассматривалась как следствие греха, вины, знак наказания и поощрения; в ней склонны были видеть воздействие злого духа, следствие колдовства. Врачевание должно было состоять в изгнании или умиротворении злого духа путем принесения жертв, сотворения молитв или каких-либо иных приемов, суть которых заключалась в том, чтобы как-то перехитрить злого демона.

Мистико-религиозные модели трактовали болезнь как проявление персонифицированных сил, властвующих над человеком. Натурфилософские - выводили болезни из аналогии природы человека (микрокосма) и природы мира (макрокосма). Эти концепции связаны с религиозным мировоззрением. Принципом истинности для этих концепций являлось не согласие с фактами, а логическая связь и правдоподобие в пределах определенной системы идей.

Одним из вариантов натурфилософских концепций являются так называемые онтологические концепции, основанные на представлении, что болезнь есть особая сущность, сравнимая с такими реалиями, как ботанические и зоологические виды. Каждая такая материализованная сущность имеет свою картину симптомов и порядок развертывания во времени. В болезни, в соответствии с этим воззрением, надо было видеть как бы особую форму жизни, имеющую более низкий ранг, чем нормальная жизнь.

XX век принес в дискуссии о сущности болезней новые черты: приобретает значение идея целостности организма, устанавливается понимание недостаточности сугубо натуралистического объяснения болезни, узости односторонне соматического

(телесного) ее содержания. Поэтому возникли психосоматические, антропологические и социокультурные модели болезни. Среди этих моделей особое место занимает концепция 3. Фрейда, пробившая брешь в традиционных натуралистических воззрениях. По Фрейду, болезнь есть .своеобразное телесное выражение душевных расстройств или следствие неподвластных человеку переживаний и конфликтов и их вытеснение в подсознание.

Наша отечественная медицина после довольно долгих дискуссий стала определять *здоровье* человека как нормальное психосоматическое состояние, как способность человека оптимально удовлетворять систему материальных и духовных потребностей. *Болезнь* - нарушение оптимального психосоматического состояния и способности удовлетворять свои потребности. Это понятие тесно связано с понятиями *нормы,* которая понимается как функциональный оптимум биологической системы и *патологии* - как нарушения этой нормы.

Причинами болезней, как принято сегодня считать, являются не внешние и внутренние факторы (патогенные воздействия среды и нарушения функций организма), а их взаимодействие. При этом роль различных факторов, вызывающих болезни, меняется в зависимости от времени, эпохи, уровня социально-экономического развития общества.

Так, если в прошлом характер патологии детерминировался в основном патогенными природными воздействиями, то **в** настоящее время он обусловливается прежде всего воздействиями, идущими от преобразованной самим же человеком, природы. На протяжении многовековой эволюции человек испытывал воздействие таких факторов, как гипердинамия, тс есть максимальная мускульная активность; общее (калорийная недостаточность) и специфическое (недостаток микроэлементов, витаминов) недоедание. Главную роль в детерминации многих заболеваний в настоящее время, соответственно, играют гиподинамия, то есть недостаточная физическая активность, информационное изобилие и психоэмоциональные стрессы. Определенное сочетание психоэмоциональных стрессов с малоподвижным образом жизни и избыточным питанием ведет к суммированию этих воздействий, способствует росту некоторых заболеваний, особенно сердечно-сосудистых.

Перестройку испытывает также аппарат психоэмоциональной адаптации. Здесь особое значение приобретает моторизация современного производства и быта, насыщение жизни техникой, шум, ускорение ритмов жизни, резкое возрастание числа межличностных контактов, нередко с отрицательным, болезнетворным психоэмоциональным зарядом.

Все вышеперечисленные факторы в конечном счете непосредственно определяют эволюцию болезней, изменение их тяжести, симптоматики, характера осложнений, ведут к исчезновению старых и возникновению новых болезней, резко изменяют характер заболеваемости. Широкое распространение в настоящее время получили заболевания, в возникновении которых большую роль играют психоэмоциональные факторы. Усиливающаяся социализация жизни современного человека сказывается на его соматической (телесной) патологии. Такие факторы, как профессия, отношение человека к труду, психологическая атмосфера производственного коллектива, оказывают существенное влияние на состояние его соматического и психического здоровья.

На разных ступенях социально-экономической зрелости общества требования, предъявляемые к уровню нервно-психических и мышечных, физических затрат, неодинаковы. В условиях научно-технической революции все более возрастают требования к нервно-психическим механизмам человека.

С переходом от одной ступени общественного развития к другой все более усложняются психоэмоциональные отношения людей. Все каналы эмоциональной взаимосвязи ныне до предела заполнены, а иногда перегружены. Нервная система человека подвергается постоянной, все возрастающей эмоционально-психической “бомбардировке”, начиная от здоровых, тонизирующих, и кончая отрицательными, даже болезнетворными эмоциями. Возрастает темп жизни, укорачиваются сроки морального износа техники, происходит устаревание некоторых профессий, убыстряется развитие науки, техники, культуры и т.п. Все это предъявляет новые, повышенные требования к внутренним ресурсам человека, важным компонентом которых является психическое здоровье и эмоциональное равновесие.

Если современный этап общественного развития характеризуется ускорением темпов жизни во всех сферах, то скорости психофизиологических и соматических реакций организма не-

редко оказываются слишком замедленными, отстают от ритмов социальной и производственной жизни, возникает социально-биологическая аритмия как общая предпосылка возникновения многих заболеваний.

Поэтому закономерно, что здоровье населения страны с каждым годом ухудшается. В последние годы, например, 70 процентов современных женщин имеют отклонения в состоянии здоровья. До 20 процентов возросла доля новорожденных с физическими и неврологическими нарушениями. Важнейшим индикатором здоровья народа и социального благополучия общества является уровень младенческой смертности. В России этот показатель за последние 5 лет увеличился на 15 процентов.

Не менее удручающими являются показатели влияния некоторых компонентов окружающей среды на здоровье человека. Так, достоверно известно, что загрязненность воздуха вызывает заболевания органов дыхания, кровообращения, пищеварения и т.д. Кроме того, она является важнейшей из причин накопления мутаций организма, влияющих на генотип человека.

Примерно 85 процентов заболеваний вызываются и переносятся водой. К болезням приводит прежде всего низкое качество воды, содержащей различные токсичные соединения тяжелых металлов, вредные органические примеси и бактерии. Чем больше насыщенность воды солями, тем выше риск заболеть атеросклерозом, инсультом, инфарктом и т.д. В огромной степени нам портит здоровье хлор. Хотя хлорирование воды спасает от инфекций, однако его производные медленно и уверенно подрывают здоровье, так как обладают канцерогенным мутагенным эффектом. Они могут влиять на наследственность, многие из них являются сильнейшими печеночными ядами и т.д.

В условиях форсирования экологических преобразований и их возрастающего воздействия на здоровье населения особое значение приобретает изучение социально-генетических проблем биосферы и здоровья человека. Научно-технический прогресс, освоение территорий Сибири, Крайнего Севера, Дальнего Востока, океана, космоса и т.п. предъявляют новые требования к человеку, его внутренним ресурсам, адаптационным возможностям и механизмам. В недалеком прошлом взаимодействие человека с окружающей средой не выводило его организм и адаптационно-приспособительные механизмы за

пределы эволюционно сформировавшейся нормы. Сейчас в ряде локальных районов создается новая физико-химическая и экологическая среда. В силу этого возникают задачи изучения механизмов социальной и биологической адаптации к новой среде. Нельзя не учитывать, что к воздействию некоторых новых факторов среды человек эволюционно не подготовлен (новые химические вещества и виды энергий), ибо в ходе эволюции он с ними не сталкивался.

Эти и многие другие проблемы стоят сегодня перед меди-| ками, а также учеными и философами, занимающимися изучением экологических проблем, взаимодействием природы и общества, человека и окружающей среды.

Человек, биосфера планеты и космос

Рассматривая вопрос о происхождении жизни на Земле, мы кратко упомянули о биосфере, живом веществе и его биогеохимических функциях, открытых В.И. Вернадским. Рассмотрим эту проблему более подробно.

На протяжении многих сотен человеческих поколений взаимодействие человека с окружающей средой заметных изменений в биосфере не вызывало, но все это время шло накопление знаний и технических возможностей. Постепенно, используя свое интеллектуальное превосходство над остальными представителями животного мира, человек охватил своей деятельностью всю поверхность планеты, всю биосферу. Эта деятельность привела к приручению животных, к выведению культурных растений. Человек стал менять окружающий его мир и создавать для себя новую, не существовавшую никогда на планете искусственную природу.

Под влиянием человеческого труда с момента появления человечества начался и в нарастающем темпе продолжает происходить процесс видоизменения биосферы и ее переход в новое качественное состояние. Естествознанию известны более ранние переходы биосферы в качественно новые состояния, сопровождавшиеся почти полной ее перестройкой. Но данный переход представляет собой нечто особенное, ни с чем не сравнимое явление. |

В системе современного научного мировоззрения понятие

биосферы занимает ключевое место во многих науках. Разработка учения о биосфере неразрывно связана с именем В.И. Вернадского, хотя и имеет довольно длинную предысторию, начавшуюся с книги Ж.-Б. Ламарка “Гидрогеология” (1802), в которой содержится одно из первых обоснований идеи о влиянии живых организмов на геологические процессы. Затем был грандиозный многотомный труд А. Гумбольдта «Космос» (первая книга вышла в 1845 году), в котором было собрано множество фактов, подтверждающих тезис о взаимодействии живых организмов с теми земными оболочками, в которые они проникают. Сам термин “биосфера” был впервые введен в науку немецким геологом и палеонтологом Эдуардом Зюссом, подразумевавшим под ней самостоятельную, пересекающуюся с другими сферу, в которой на Земле существует жизнь. Он дал определение биосферы как совокупности организмов, ограниченной в пространстве и времени и обитающей на поверхности Земли.

Но о геологической роли биосферы, о ее зависимости от планетарных факторов Земли пока не было сказано ничего. Впервые идею о геологических функциях живого вещества, представление о совокупности всего органического мира в виде единого нераздельного целого высказал В.И. Вернадский. Его концепция складывалась постепенно, от первой студенческой работы “Об изменении почвы степей грызунами” (1884) к трудам “Живое вещество” (рукопись рубежа 20-х годов), “Биосфера” (1926), “Биогеохимические очерки” (1940), а также “Химическое строение биосферы Земли” и “Философские мысли натуралиста”, над которыми он работал в последние десятилетия своей жизни - теоретический итог творчества ученого и мыслителя.

Введя понятие *живого вещества* как совокупности всех живых организмов планеты, в том числе и человека, Вернадский тем самым вышел на качественно новый уровень анализа жизни и живого - биосферный. Это дало возможность понимать жизнь как могучую геологическую силу нашей планеты, действенно формирующую сам облик Земли. В функциональном плане, живое вещество становилось тем звеном, которое соединяло историю химических элементов с эволюцией биосферы. Введение этого понятия также позволяло поставить и решить вопрос о механизмах геологической ак-

тивности живого вещества, источниках энергии для этого.

Геологическая роль живого вещества основана на его геохимических функциях, которые современная наука классифицирует по пяти категориям: энергетическая, концентрационная, деструктивная, средообразующая, транспортная. Они основаны на том, что живые организмы своим дыханием, своим питанием, своим метаболизмом, непрерывной сменой поколений порождают грандиознейшее планетное явление - миграцию химических элементов в биосфере. Это предопределило решающую роль живого вещества и биосферы в становлении современного облика Земли - ее атмосферы, гидросферы, литосферы.

Такие грандиозные преобразования геосферы требуют гигантских затрат энергии. Источником ее является биогеохимическая энергия живого вещества биосферы, открытая Вернадским.

Биосфера - это живое вещество планеты и преобразованное им косное вещество (образованное без участия жизни). Таким образом, это не биологическое, геологическое или географическое понятие. Это фундаментальное понятие биогеохимии, один из основных структурных компонентов организованности нашей планеты и околоземного космического пространства, сфера, в которой осуществляются биоэнергетические процессы и обмен веществ вследствие деятельности жизни.

Пленка биосферы, окутывающая Землю, очень тонкая. Сегодня принято считать, что в атмосфере микробная жизнь имеет место примерно до высоты 20 - 22 км над земной поверхностью, а наличие жизни в глубоких океанических впадинах опускает эту границу до 8 - 11 км ниже уровня моря. Углубление жизни в земную кору много меньше, и микроорганизмы обнаружены при глубинном бурении и в пластовых водах не глубже 2-3 км. Но эта тончайшая пленка покрывает абсолютно всю Землю, не оставляя ни одного места на нашей планете (включая пустыни и ледяные пространства Арктики и Антарктики), где бы не было жизни. Разумеется, количество живого вещества в разных областях биосферы различно. Самое большое его количество расположено в верхних слоях литосферы (почва), гидросферы и нижних слоях атмосферы. По мере углубления в земную кору, океан, выше в атмосферу - количество живого вещества уменьшается, но нет резкой границы между биосферой и

окружающими ее земными оболочками. И прежде всего нет такой границы в атмосфере, которая делала бы биосферу закрытой для всех космических излучений, а также энергии Солнца. Таким образом, биосфера открыта космосу, купается в потоках космической энергии. Перерабатывая эту энергию, живое вещество преобразует нашу планету. Само образование биосферы, в том числе и происхождение жизни на Земле, является результатом действия этих космических сил, важнейшего фактора функционирования биосферы.

Космические излучения и прежде всего энергия Солнца оказывают постоянное действие на все явления на Земле. Основатель гелиобиологии А.Л. Чижевский особенно много занимался изучением солнечно-земных связей. Он отмечал, что самые разнообразные и разнохарактерные явления на Земле: и химические превращения земной коры, и динамика самой планеты и составляющих ее частей, атмо-, гидро- и литосферы, протекают под непосредственным воздействием Солнца. Солнце является основным (наряду с космическим излучением и энергией радиоактивного распада в недрах Земли) источником энергии, причиной всех преобразований на Земле - от легкого ветерка и произрастания растений до смерчей и ураганов и умственной деятельности человека.

Связь между циклами солнечной активности и процессами в биосфере была замечена еще в XVIII веке. Тогда английский астроном В. Гершель обратил внимание на связь между урожаями пшеницы и числом солнечных пятен. В конце XIX века профессор Одесского университета Ф.Н. Шведов, изучая срез ствола столетней акации, обнаружил, что толщина годичных колец изменяется каждые 11 лет, как бы повторяя цикличность солнечной активности.

Обобщив опыт предшественников, А.Л. Чижевский подвел под эти эмпирические данные твердую научную базу. Он считал, что Солнце диктует ритм большинства биологических процессов на Земле. Когда на нем образуется много пятен, появляются хромосферные вспышки и усиливается яркость короны, на нашей планете разражаются эпидемии, усиливается рост деревьев, особенно сильно размножаются вредители сельского хозяйства и микроорганизмы - возбудители различных болезней.

Особый интерес представляет утверждение Чижевского, что Солнце существенно влияет не только на биологические, но и на

социальные процессы на Земле. Социальные конфликты (войны, бунты, революции), по убеждению Чижевского, во многом предопределяются поведением и активностью нашего светила. По его подсчетам, во время минимальной солнечной активности происходит минимум массовых активных социальных проявлений в обществе (примерно 5%). Во время же пика активности Солнца их число достигает 60%. Эти выводы Чижевского лишь подтверждают неразрывное единство человека и космоса, указывают на их тесное взаимовлияние.

Исходной основой существования биосферы и происходящих в ней биогеохимических процессов является астрономическое положение нашей планеты, в первую очередь ее расстояние от Солнца и наклон земной оси к плоскости земной орбиты. Это пространственное расположение Земли в основном определяет климат на планете, а последний в свою очередь - жизненные циклы всех существующих на ней организмов. Солнце является основным источником всех геологических, химических и биологических процессов на нашей планете.

Сегодня основная масса ученых едина во мнении, что человек и человечество составляют часть живого вещества нашей планеты. Это означает, что люди также подвержены действию космических энергий и солнечной радиации. Так, человеческий организм, так же как организмы других животных, подстраивается под ритмы биогеосферы, прежде всего суточные (циркадные) и сезонные, связанные со сменой времен года.

Обмен веществ у человека протекает в наследуемом из поколения в поколение циркадном ритме. В настоящее время считается, что около сорока процессов в человеческом организме подчинено строгому циркадному ритму. Например, еще в 1931 году была установлена цикличность в функционировании печени человека. У людей, ведущих нормальный образ жизни и питающихся три раза в день, в первую половину дня печень выделяет наибольшее количество желчи, которая необходима для переваривания жиров и белков, расходуя запасенный ею гликоген и превращая его в простые разновидности сахара. Она отдает воду, образуя много мочевины, и накапливает жиры. Во второй половине дня печень начинает усваивать сахара, накапливая гликоген и воду. Объем ее клеток увеличивается в три раза.

На протяжении суток циклично колеблется содержание ге-

моглобина в крови, максимум его приходится на 11 - 13 часов, а минимум - на 16 - 18. Суточным колебаниям подвержено содержание в крови калия, магния, натрия, кальция, железа. Ночью повышается количество солей магния, а в мозговой жидкости - количество солей калия. Оба эти соединения гасят нервно-мышечную возбудимость. По суточному графику работает и вегетативная нервная система. Статистика утверждает, что даже рождение и смерть чаще случаются в темную часть суток, около полуночи.

Вся живая природа чутко реагирует на сезонные изменения окружающей температуры, на интенсивность солнечного излучения - весной покрываются листвой деревья, осенью листва опадает, затухают обменные процессы, многие животные впадают в спячку и т.д. Человек не является исключением. На протяжении года у него меняется интенсивность обмена, состав клеток тканей, причем эти колебания различны в разных климатических поясах. Так, в южных районах (Сочи) содержание гемоглобина и количество эритроцитов, а также максимальное и минимальное давление крови в холодный период возрастают на 20 процентов по сравнению с теплым временем.

В условиях Севера наибольший процент гемоглобина найден у большинства обследованных жителей в летние месяцы, а наименьший - зимой и в начале весны.

Циклы солнечной активности также оказывают свое влияние на жизнедеятельность человека. Так, обработав материал по вспышкам возвратного тифа в Европейской России с 1883 по 1917 год, а также данные по холере в России с 1823 по 1923 год и данные по активности Солнца, Чижевский пришел к выводу, что эти земные явления наступают синхронно с изменениями, происходящими в разных солнечных сферах. На основании построенных им графиков он еще в 1930-х годах предсказал, что в 1960 - 1962 годах произойдет эпидемическая вспышка холеры, что действительно произошло в странах Юго-Восточной Азии.

То, что состояние солнечной активности небезразлично для жизни на Земле, показывает и увеличение числа случаев заражения чесоткой в 1968 году и неожиданно подскочившее число заболеваний клещевым энцефалитом и туляремией на вершине максимума векового цикла солнечной активности в 1957 году (несмотря на проводившуюся, как и в прошлые годы, вакцинацию населения). Здесь мы обнаруживаем явную взаимосвязь

человека с растительным и животным миром, в котором все жизненные циклы: заболевания, массовые перекочевки, периоды бурного размножения млекопитающих, насекомых, вирусов - протекают синхронно с одиннадцатилетними циклами солнечной активности, как и чередование грозовой и спокойной летней погоды, большего и меньшего производства растительной массы и т.д.

Гематологи пришли к выводу, что в годы максимума солнечной активности норма свертывания крови у здоровых людей увеличивается вдвое, а так как компенсаторная деятельность, в частности способность крови не свертываться, у сердечно-сосудистых больных угнетена, то при увеличении солнечных пятен учащаются инфаркты, инсульты.

Приведенные факты позволяют нам говорить о влиянии космоса на физиологические процессы в отдельном человеческом организме. Но ведь одновременно человек является частью человечества, общественного организма, который также подвержен влиянию солнечной активности. Чижевский попытался установить взаимосвязь одиннадцатилетних солнечных циклов с насыщенностью историческими событиями разных периодов человеческой истории. В результате своего анализа он сделал вывод, что максимум общественной активности совпадает с максимумом солнечной активности. Средние точки течения цикла дают максимум массовой деятельности человечества, выражающийся в революциях, восстаниях, войнах, походах, переселениях, являются началами новых исторических эпох в истории человечества. В крайних точках течения цикла напряжение общечеловеческой деятельности военного или политического характера понижается до минимального предела, уступая место созидательной деятельности и сопровождаясь всеобщим упадком политического и военного энтузиазма, миром и спокойной творческой работой в области государственного строительства, науки и искусства.

Эти идеи о связи космоса, человека и биосферы, представленные концепциями Вернадского и Чижевского, легли в оснэву популярной сегодня гипотезы Л.Н. Гумилева о пассионарном толчке, рождающем к жизни новые этносы. Ключевым понятием концепции этногенеза Гумилева является понят не *пассионарности,* которое он определяет как повышенное стремление к действию. Появление этого признака у отдельного

человека является мутацией, затрагивающей энергетические механизмы человеческого тела. Пассионарий (носитель пассионарности) становится способным воспринять из окружающей среды энергии больше, чем необходимо для его нормальной жизнедеятельности. Избыток же полученной энергии направляется им в любую область человеческой деятельности выбор которой определяется конкретными историческими условиями и склонностями самого человека. Пассионарий может стать великим завоевателем (Александр Македонский, Наполеон и т.д.) или путешественником (Марко Поло, А. Пржевальский и т.д.), великим ученым (А. Эйнштейн, И. Гете и т.д.) или религиозным деятелем (Будда, Христос). Появление свойства пассионарности инициируется каким-то специфическим редким космическим излучением (пассионарные толчки происходят 2-3 раза за тысячелетие). Носители пассионарности появляются в зоне следа от этого излучения - полосы шириной 200 - 300 км, но длиной до половины окружности планеты. Если в зоне этого излучения окажутся несколько народов, живущих в разных ландшафтах, они могут стать зародышем нового этноса. Смена этносов и есть процесс всемирной истории, причина прогрессивных перемен в ней.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем проявляется сходство человека и животных?
2. В чем проявляется отличие человека и животных?
3. Каково положение рода Homo в систематике позвоночных и млекопитающих?
4. Каковы характерные признаки приматов?
5. Каковы пути эволюции приматов?
6. Укажите роды человекообразных обезьян.
7. Приведите схему эволюции человекообразных обезьян.
8. Назовите наиболее вероятного предка существ, развитие которых привело у человеку.
9. Приведите доказательства происхождения человека от человекообразных обезьян.
10. Каковы отличия человека от человекообразных обезьян?
11. Где были обнаружены останки питекантропов и синантропов?
12. В чем проявляется преимущество человека перед

высшими животными?
13. Какова сущность человека?
14. В чем проявляется взаимодействие человека и природы?
15. К каким последствиям приводит нарушение гармоничности взаимоотношения человека с природой?
16. Каковы модели болезней человека?
17. Дайте определение понятиям “болезни” и “здоровья” человека.
18. Что является причинами болезней человека?
19. Каково взаимоотношение человека и космоса?
20. Приведите доказательства связи человека с космосом.

Глава 6

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

Экология зарождалась как биологическая и медицинская наука. Речь шла об экологии человека, его взаимоотношениях со средой, прежде всего с миром, окружающим человека, но не включающим других людей. Подразумевались взаимодействия, взаимосвязи человека-индивида как высокоорганизованного – не только социально, но и биологически – существа с миром его материального бытия. Взаимоотношения же человека с ему подобными полностью отдавались морали, другим социальным институтам, а взаимоотношения общества и природы понимались односторонне: есть активное отношение общества к природе, но обратного отношения нет, поскольку оно казалось не имеющим смысла («природа все стерпит», она неисчерпаема и «несгибаема»). Признание обратного отношения наступило, когда человеческая деятельность обрела геологически значимые масштабы, стала ощутимой, порождая отрицательные для биосферы и самого человека последствия. В число задач экологии вошли, по меньшей мере, три новые: защищать человека, в том числе и его «духовную экологию» (термин академика Д.С. Лихачева), от другого человека, защищать общество от природы, на которую оно оказывает разрушительное воздействие, и защищать природу, конкретно – биосферу, от варварского вмешательства общества в ее функционирование.

Такие задачи обусловили создание социальной экологии, в начале регионального, а затем и глобального характера. Некоторые исследователи отождествляют эти разделы экологии. Диалектически они и в самом деле тождественны, однако от различий между ними также нельзя абстрагироваться. В социальной экологии упор делается на взаимоотношения человека, групп людей и общества, возможно также – на зависимость общества от природы. Глобальная экология, как нам представляется, рассматривает отношение общества к природе и природы к обществу, причем прежде всего в аспекте сохранения природы, способной к обеспечению жизнедеятельности общества. Обеспечение же этой способности является необходимым условием для

экологического здоровья социума (для того чтобы создать достаточные, а не только необходимые условия, требуется гуманное научно-организованное общественное устройство и разумные правила природопользования).

И социальную, и глобальную ветви экологии, по-видимому, можно отнести к разряду общенаучных. Основанием тому служит, в частности, универсальность объекта исследования – взаимосвязи общества и осваиваемой им природы. Экспансия человека в космическое пространство, проникновение его в тайны наследственности, поиски возможности управления ею позволяют говорить не только о глобальной, но и об универсальной, по объекту исследования, экологии. Чтобы выявить экологическое отношение общества и природы, требуется найти и определенные характеристики его носителей, т.е. и общества, и природы. Поэтому экология вынуждена обращаться и к знанию о них, а глобальность, общечеловеческая значимость ее проблем способствуют утверждению экологического смысла в естественно-научном, техническом, гуманитарном познании.

Острота глобально-экологических задач привела к построению – в СССР и США независимо (на основе машинного эксперимента, использования результатов многих наук) – математических моделей целостного биосферного процесса, который совершался бы в результате термоядерной войны. Эти модели – о них модно говорить как об одной модели – признаны выдающимся открытием, имеющим огромное научное и гуманистическое значение. В определенной мере оно приобрело методологический характер, поскольку выступает нормой и основой проведения анализа всех иных широко известных экологических концепций.

Сегодня органический мир перестал быть для человека чем то неизвестным и внушающим ужас или раболепное восхищение. Человек теперь активно изменяет живую природу. Возрастающее вмешательство человека в природу ставит перед ним новые очень серьёзные проблемы, которые могут быть решены лишь при условии, что сам человек возьмёт на себя заботу об охране окружающей среды, о сохранении тех тонких соотношений в биосфере, которые сложились в ней за миллионы лет эволюции жизни на Земле.

Характеристика и состав биосферы

В предыдущей главе мы уже касались понятия «биосфера» и некоторых ее характеристик. Здесь мы рассмотрим взаимодействие человека и среды, окружающей человека более подробно.

В буквальном переводе термин «биосфера» обозначает сферу жизни, и в таком смысле он впервые был введен в науку в 1875 г. австрийским геологом и палеонтологом Эдуардом Зюссом (1831–1914). Однако задолго до этого под другими названиями, в частности «пространство жизни», «картина природы», «живая оболочка Земли» и т.п., его содержание рассматривалось многими другими естествоиспытателями.

Первоначально под всеми этими терминами подразумевалась только совокупность живых организмов, обитающих на нашей планете, хотя иногда и указывалась их связь с географическими, геологическими и космическими процессами, но при этом скорее обращалось внимание на зависимость живой природы от сил и веществ неорганической природы. Даже автор самого термина «биосфера» Э. Зюсс в своей книге «Лик Земли», опубликованной спустя почти тридцать лет после введения термина (1909 г.), не замечал обратного воздействия биосферы и определял ее как «совокупность организмов, ограниченную в пространстве и во времени и обитающую на поверхности Земли».

Первым из биологов, который ясно указал на огромную роль живых организмов в образовании земной коры, был Ж.Б. Ламарк. Он подчеркивал, что все вещества, находящиеся на поверхности земного шара и образующие его кору, сформировались благодаря деятельности живых организмов.

Факты и положения о биосфере накапливались постепенно в связи с развитием ботаники, почвоведения, географии растений и других преимущественно биологических наук, а также геологических дисциплин. Те элементы знания, которые стали необходимыми для понимания биосферы в целом, оказались связанными с возникновением экологии, науки, которая изучает взаимоотношения организмов и окружающей среды. Биосфера является определенной природной системой, а ее существование в первую очередь выражается в круговороте энергии и веществ при участии живых организмов.

Очень важным для понимания биосферы было установление немецким физиологом Пфефером (1845–1920) трех способов питания живых организмов:

– автотрофное – построение организма за счет использования веществ неорганической природы;

– гетеротрофное – строение организма за счет использования низкомолекулярных органических соединений;

– миксотрофное – смешанный тип построения организма (автотрофно-гетеротрофный).

Биосфера (в современном понимании) – своеобразная оболочка Земли, содержащая всю совокупность живых организмов и ту часть вещества планеты, которая находится в непрерывном обмене с этими организмами.

Биосфера охватывает нижнюю часть атмосферы, гидросферу и верхнюю часть литосферы.

Атмосфера – наиболее легкая оболочка Земли, которая граничит с космическим пространством; через атмосферу осуществляется обмен вещества и энергии с космосом. Атмосфера имеет несколько слоев:

– тропосфера – нижний слой, примыкающий к поверхности Земли (высота 9–17 км). В нем сосредоточено около 80% газового состава атмосферы и весь водяной пар;

– стратосфера;

– ионосфера – там «живое вещество» отсутствует.

Преобладающие элементы химического состава атмосферы: N_2 (78%), O_2 (21%), CO_2 (0,03%).

Гидросфера – водная оболочка Земли. Вследствие высокой подвижности вода проникает повсеместно в различные природные образования, даже наиболее чистые атмосферные воды содержат от 10 до 50 мг/л растворимых веществ.

Преобладающие элементы химического состава гидросферы: Na^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Cl^-, S, C. Концентрация того или иного элемента в воде еще ничего не говорит о том, насколько он важен для растительных и животных организмов, обитающих в ней. В этом отношении ведущая роль принадлежит азоту, фосфору, кремнию, которые усваиваются живыми организмами. Главной особенностью океанической воды является то, что основные ионы характеризуются постоянным соотношением во всем объеме мирового океана.

Литосфера – внешняя твердая оболочка Земли, состоящая из осадочных, магматических и метаморфических пород. В настоящее время земной корой принято считать верхний слой твердого тела планеты, расположенный выше сейсмической границы Мохоровичича. Поверхностный слой литосферы, в котором осуществляется взаимодействие живой органической материи с минеральной (неорганической), представляет собой почву. Остатки организмов после разложения переходят в гумус (плодородную часть почвы). Составными частями почвы служат минералы, органические вещества, живые организмы, вода, газы. Преобладающие элементы химического состава литосферы: O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K.

Ведущую роль выполняет кислород, на долю которого приходится половина массы земной коры и 92% ее объема, однако кислород прочно связан с другими элементами в главных породообразующих минералах. Таким образом, в количественном отношении земная кора – это «царство» кислорода, химически связанного в ходе геологического развития земной коры.

Постепенно идея о тесной взаимосвязи между живой и неживой природой, об обратном воздействии живых организмов и их систем на окружающие их физические, химические и геологические факторы все настойчивее проникала в сознание ученых и находила реализацию в их конкретных исследованиях. Этому способствовали и перемены, произошедшие в общем подходе естествоиспытателей к изучению природы. Они все больше убеждались в том, что обособленное исследование явлений и процессов природы с позиций отдельных научных дисциплин оказывается неадекватным. Поэтому на рубеже XIX–XX вв. в науку все шире проникают идеи холистического, или целостного, подхода к изучению природы, которые в наше время сформировались в системный метод ее изучения.

Результаты такого подхода незамедлительно сказались при исследовании общих проблем воздействия биотических, или живых, факторов на абиотические, или физические, условия. Так, оказалось, например, что состав морской воды во многом определяется активностью морских организмов. Растения, живущие на песчаной почве, значительно изменяют ее структуру. Живые организмы контролируют даже состав нашей атмосферы. Число подобных примеров легко увеличить, и все

они свидетельствуют о наличии обратной связи между живой и неживой природой, в результате которой живое вещество в значительной мере меняет лик нашей Земли. Таким образом, биосферу нельзя рассматривать в отрыве от неживой природы, от которой она, с одной стороны, зависит, а с другой – сама воздействует на нее. Поэтому перед естествоиспытателями возникает задача – конкретно исследовать, каким образом и в какой мере живое вещество влияет на физико-химические и геологические процессы, происходящие на поверхности Земли и в земной коре. Только подобный подход может дать ясное и глубокое представление о концепции биосферы. Такую задачу как раз и поставил перед собой выдающийся российский ученый Владимир Иванович Вернадский (1863–1945).

В.И. Вернадский о биосфере и «живом веществе»

Центральным в этой концепции является понятие о живом веществе, которое В.И. Вернадский определяет как совокупность живых организмов. Кроме растений и животных, В.И. Вернадский включает сюда и человечество, влияние которого на геохимические процессы отличается от воздействия остальных живых существ, во-первых, своей интенсивностью, увеличивающейся с ходом геологического времени; во-вторых, тем воздействием, какое деятельность людей оказывает на остальное живое вещество.

Это воздействие сказывается прежде всего в создании многочисленных новых видов культурных растений и домашних животных. Такие виды не существовали раньше, и без помощи человека они либо погибают, либо превращаются в дикие породы. Поэтому Вернадский рассматривает геохимическую работу живого вещества в неразрывной связи животного, растительного царства и культурного человечества как работу единого целого.

По мнению В.И. Вернадского, в прошлом не придавали значения двум важным факторам, которые характеризуют живые тела и продукты их жизнедеятельности:

– открытию Пастера о преобладании оптически активных соединений, связанных с дисимметричностью пространственной структуры молекул как отличительной особенности живых тел;

– вкладу живых организмов в энергетику биосферы и их влиянию на неживые тела. Ведь в состав биосферы входит не только живое вещество, но и разнообразные неживые тела, которые В.И. Вернадский называет косными (атмосфера, горные породы, минералы и т.д.), а также и биокосные тела, образованные из разнородных живых и косных тел (почвы, поверхностные воды и т.п.). Хотя живое вещество по объему и весу составляет незначительную часть биосферы, оно играет основную роль в геологических процессах, связанных с изменением облика нашей планеты.

Поскольку живое вещество является определяющим компонентом биосферы, постольку можно утверждать, что оно может существовать и развиваться только в рамках целостной системы биосферы. Не случайно поэтому В.И. Вернадский считает, что живые организмы являются функцией биосферы и теснейшим образом материально и энергетически с ней связаны, являются огромной геологической силой, ее определяющей.

Исходной основой существования биосферы и происходящих в ней биогеохимических процессов является астрономическое положение нашей планеты и, в первую очередь, ее расстояние от Солнца и наклон земной оси к эклиптике, или к плоскости земной орбиты. Это пространственное расположение Земли определяет в основном климат на планете, а последний, в свою очередь, – жизненные циклы всех существующих на ней организмов. Солнце является основным источником энергии биосферы и регулятором всех геологических, химических и биологических процессов на нашей планете. Эту ее роль образно выразил один из авторов закона сохранения и превращения энергии Юлиус Майер (1814–1878), отметивший, что жизнь есть создание солнечного луча.

Решающее отличие живого вещества от косного заключается в следующем:

– изменения и процессы в живом веществе происходят значительно быстрее, чем в косных телах. Поэтому для характеристики изменений в живом веществе используется понятие исторического, а в косных телах – геологического времени. Для сравнения отметим, что секунда геологического времени соответствует примерно ста тысячам лет исторического;

– в ходе геологического времени возрастают мощь живого вещества и его воздействие на косное вещество биосферы. Это воздействие, указывает В.И. Вернадский, проявляется прежде всего «в непрерывном биогенном токе атомов из живого вещества в косное вещество биосферы и обратно»;

– только в живом веществе происходят качественные изменения организмов в ходе геологического времени. Процесс и механизмы этих изменений впервые нашли объяснение в теории происхождения видов путем естественного отбора Ч. Дарвина (1859 г.);

– живые организмы изменяются в зависимости от изменения окружающей среды, адаптируются к ней, и, согласно теории Дарвина, именно постепенное накопление таких изменений служит источником эволюции.

В.И. Вернадский высказывает предположение, что живое вещество, возможно, имеет и свой процесс эволюции, проявляющийся в изменении с ходом геологического времени, вне зависимости от изменения среды.

Для подтверждения своей мысли он ссылается на непрерывный рост центральной нервной системы животных и ее значение в биосфере, а также на особую организованность самой биосферы. По его мнению, в упрощенной модели эту организованность можно выразить так, что ни одна из точек биосферы «не попадает в то же место, в ту же точку биосферы, в какой когда-нибудь была раньше». В современных терминах, это явление можно описать как необратимость изменений, которые присущи любому процессу эволюции и развития.

Непрерывный процесс эволюции, сопровождающийся появлением новых видов организмов, оказывает воздействие на всю биосферу в целом, в том числе и на природные биокосные тела, например, почвы, наземные и подземные воды и т.д. Это подтверждается тем, что почвы и реки девона совсем другие, чем третичной и тем более нашей эпохи. Таким образом, эволюция видов постепенно распространяется и переходит на всю биосферу.

Поскольку эволюция и возникновение новых видов предполагают существование своего начала, постольку закономерно возникает вопрос: а есть ли такое начало у жизни? Если есть, то где его искать – на Земле или в Космосе? Может ли возникнуть живое из неживого?

Над этими вопросами на протяжении столетий задумывались многие религиозные деятели, представители искусства, философы и ученые. В.И. Вернадский подробно рассматривает наиболее интересные точки зрения, которые выдвигались выдающимися мыслителями разных эпох, и приходит к выводу, что никакого убедительного ответа на эти вопросы пока не существует. Сам он как ученый вначале придерживался эмпирического подхода к решению указанных вопросов, когда утверждал, что многочисленные попытки обнаружить в древних геологических слоях Земли следы присутствия каких-либо переходных форм жизни не увенчались успехом. Во всяком случае некоторые останки жизни были обнаружены даже в докембрийских слоях, насчитывающих 600 миллионов лет. Эти отрицательные результаты, по мнению В.И. Вернадского, дают возможность высказать предположение, что жизнь как материя и энергия существует во Вселенной вечно и поэтому не имеет своего начала. Но такое предположение есть не больше, чем эмпирическое обобщение, основанное на том, что следы живого вещества до сих пор не обнаружены в земных слоях. Чтобы стать научной гипотезой, оно должно быть согласовано с другими результатами научного познания, в том числе и с более широкими концепциями естествознания и философии. Во всяком случае нельзя не считаться со взглядами тех натуралистов и философов, которые защищали тезис о возникновении живой материи из неживой, а в настоящее время даже выдвигают достаточно обоснованные гипотезы и модели происхождения жизни.

Предположения относительно абиогенного, или неорганического, происхождения жизни делались неоднократно еще в античную эпоху, например, Аристотелем, который допускал возможность возникновения мелких организмов из неорганического вещества. С возникновением экспериментального естествознания и появлением таких наук, как геология, палеонтология и биология, такая точка зрения подверглась критике как не обоснованная эмпирическими фактами. Еще во второй половине XVII в. широкое распространение получил принцип, провозглашенный известным флорентийским врачом и натуралистом Ф. Реди, что все живое возникает из живого. Утверждению этого принципа содействовали исследования знаменитого английского

физиолога Уильяма Гарвея (1578–1657), который считал, что всякое животное происходит из яйца, хотя он и допускал возможность возникновения жизни абиогенным путем.

В дальнейшем, по мере проникновения физико-химических методов в биологические исследования, снова и все настойчивее стали выдвигаться гипотезы об абиогенном происхождении жизни. Выше мы уже говорили о химической эволюции как предпосылке возникновения предбиотической, или предбиологической, стадии возникновения жизни. С указанными результатами не мог не считаться В.И. Вернадский, и поэтому его взгляды по этим вопросам не оставались неизменными, но, опираясь на почву точно установленных фактов, он не допускал ни божественного вмешательства, ни земного происхождения жизни. Он перенес возникновение жизни за пределы Земли, а также допускал возможность ее появлении в биосфере при определенных условиях. Он писал: «Принцип Реди... не указывает на невозможность абиогенеза вне биосферы или при установлении наличия в биосфере (теперь или раньше) физико-химических явлений, не принятых при научном определении этой формы организованности земной оболочки».

Несмотря на некоторые противоречия, учение Вернадского о биосфере представляет собой новый крупный шаг в понимании не только живой природы, но и ее неразрывной связи с исторической деятельностью человечества.

Биогенная миграция химических элементов и биогеохимические принципы

По Вернадскому, работа живого вещества в биосфере может проявляться в двух основных формах:

– химической (биохимической) – I род геологической деятельности;

– механической – II род такой деятельности.

Геологическая деятельность I рода – построение тел организмов и переваривание пищи, – конечно, является более значительной. Классическим стало функциональное определение жизни, данное Фридрихом Энгельсом: «Жизнь есть способ существования белковых тел, существенным моментом которого является постоянный обмен веществ с окружающей их

внешней природой, причем с прекращением этого обмена веществ прекращается и жизнь».

Сейчас появилась возможность вычислить скорость этого обмена. Так, по данным Л.Н. Тюрюканова, в пшенице, например, полная смена атомов происходит для фосфора за 15 суток, а для кальция – в 10 раз быстрее: за 1,5 суток! Собственно говоря, постоянный обмен веществ между живым организмом и внешней средой и обусловливает проявление большинства функций живого вещества в биосфере, которые мы рассмотрим и этой части книги. По подсчетам биолога П.Б. Гофмана-Кадошникова, в течение жизни человека через его тело проходит 75 т воды, 17 т углеводородов, 2,5 т белков, 1,3 т жиров. Между тем, по геохимическому эффекту своей физиологической деятельности человек отнюдь не самый важный вид разнородного живого вещества биосферы. Геохимический эффект физиологической деятельности организмов обратно пропорционален их размерам, и наиболее значимой оказывается деятельность прокариотов – бактерий и цианобактерий.

Большое значение имеет также количество пропускаемого через организм вещества. В этом отношении максимальный геохимический эффект на суше имеют грунтоеды, а в океане – илоеды и фильтраторы. Еще Ч. Дарвин подсчитал, что слой экскрементов, выделяемых дождевыми червями на плодородных почвах Англии, составляет около 5 мм в год! Таким образом, почвенный пласт мощностью в 1 м дождевые черви полностью пропускают через свой кишечник за 200 лет. В океане с дождевыми червями по «пропускной способности» могут конкурировать их близкие родственники, представители того же типа кольчатых червей – полихеты, а также ракообразные. Достаточно 40 экземпляров полихет на 1 $м^2$, чтобы поверхностный слой донных осадков мощностью в 20–30 см ежегодно проходил через их кишечник. Субстрат при этом существенно обогащается кальцием, железом, магнием, калием и фосфором по сравнению с исходными илами.

Копролиты (ископаемые остатки экскрементов) известны в геологических отложениях, начиная с ордовика, однако бесспорно, что большинство их при геологических описаниях не учитывается. Происходит это из-за слабой изученности вопроса

и из-за отсутствия диагностических признаков для определения копролитов.

Между тем, в донных отложениях современных водоемов фекальные комочки беспозвоночных распространены очень широко и нередко являются основной частью осадка. В южной Атлантике, например, илы почти нацело слагаются фекалиями планктонных ракообразных, а по берегам Северного моря донные осадки, образованные фекалиями мидий, имеют мощность до 8 м.

Биогенная миграция атомов II рода – механическая – отчетливо проявляется в наземных экосистемах с хорошо развитым почвенным покровом, позволяющим животным создавать глубокие укрытия (гнездовые камеры термитов, например, расположены на глубине 2–4 м от поверхности). Благодаря выбросам землероев, в верхние слои почвы попадают первичные невыветрившиеся минералы, которые, разлагаясь, вовлекаются в биологический круговорот. Недаром известный геолог Г.Ф. Мирчинк (1889–1942) называл сурка-тарбагана «лучшим геологом Забайкалья» – его норы окружены «коллекциями» горных пород, добытых с глубины нескольких метров!

Понятие «нора» и «гнездо» обычно ассоциируются у нас с грызунами и птицами. Между тем биогенная миграция атомов II рода распространена не только в наземных, но и в морских экосистемах, и здесь ее роль, может быть, еще более значительна. И на дне моря организмы строят себе укрытия, причем не только в мягком, но и в скальном грунте. Олигохеты и полихеты углубляются в грунт на 40 см и более. Двустворчатые моллюски зарываются обычно неглубоко, но некоторые из них – солениды и миа – роют норы, которым позавидует и сурок: они достигают глубины нескольких метров. В зоне прибоя и на перемываемом волнами песке – вот беда! – норы не выроешь и гнездо не совьешь. Приходится сверлить скальные породы. И сверлят. Сверлят водоросли и губки, бактерии и моллюски, полихеты, морские ежи, рачки...

Сверлильщики появились в далеком геологическом прошлом. Источенные ими породы находят даже в докембрийских отложениях; и поныне они продолжают свою разрушительную работу. Сверлящая деятельность моллюсков фолад вызывает иногда катастрофические последствия. Когда в районе Сочи в

результате непродуманного строительства берег обнажился от гальки, он начал отступать со скоростью до 4 м в год. Главным виновником разрушения были фолады, которые заселили каждый метр скального берега, сложенного глинистыми сланцами, и принялись дружно сверлить себе подводные норки. К счастью, был найден выход: берег стали укреплять поперечными стенками, а между ними засыпать гальку. В результате сверлильщики были уничтожены, движущаяся под ударами волн галька перемолола их. А в Западной Европе не менее опасную деятельность проводит случайно завезенный из Китая мохнаторукий краб – он проник во многие реки и, строя свои норы, подрывает берега и разрушает плотины.

К биогенной миграции II рода можно отнести и перемещение самого живого вещества. Сюда относятся сезонные перелеты птиц, перемещения животных в поисках корма, массовые миграции животных. Естественно, что все эти разнообразные формы движения живого вызывают и транспортировку небиогенного вещества.

Вернадский, как мы видели, подразделял процессы, осуществляемые в биосфере живым веществом, по характеру самих процессов. Несколько иначе подошел к этому вопросу современник Владимира Ивановича Н.А. Андрусов. «Химическая деятельность организма вообще, имеющая геологическое значение, – писал Андрусов, – может быть сведена к двум категориям: во-первых, к образованию на наружной поверхности или внутри твердых выделений, способных сохраняться; во-вторых, к образованию жидких и газообразных выделений, способных вступать в различные химические реакции с окружающим неорганическим миром». По существу, эту же мысль развивала на современном материале микробиолог Т.В. Аристовская. Она указала, что миграция атомов химических элементов может быть как прямым, так и косвенным результатом жизнедеятельности организмов (в первую очередь бактерий). В таблице совмещены классификационные подходы Вернадского (горизонтальные ряды) и Андрусова–Аристовской (вертикальные столбцы). Для понимания той работы, которую совершает живое вещество в биосфере, очень важными являются три основных положения, которые Владимир Иванович называл «биогеохимическими принципами».

В формулировке В.И. Вернадского они звучат следующим образом:

– I принцип: «Биогенная миграция атомов химических элементов в биосфере всегда стремится к максимальному своему проявлению».

– II принцип: «Эволюция видов в ходе геологического времени, приводящая к созданию форм жизни устойчивых в биосфере, идет в направлении, увеличивающем биогенную миграцию атомов биосферы» (или в другой формулировке: «При эволюции видов выживают те организмы, которые своею жизнью увеличивают биогенную геохимическую энергию»).

– III принцип: «В течение всего геологического времени, с криптозоя, заселение планеты должно было быть максимально возможное для всего живого вещества, которое тогда существовало».

Для Вернадского I биогеохимический принцип был тесно связан со способностью живого вещества неограниченно размножаться в оптимальных условиях. «Вихрь атомов», который представляет собой жизнь, по определению Жоржа Кювье, стремится к безграничной экспансии. Следствием этого и является максимальное проявление биогенной миграции атомов в биосфере.

II биогеохимический принцип, по существу, затрагивает кардинальную проблему современной биологической теории – вопрос о направленности эволюции организмов. По мысли Вернадского, преимущества в ходе эволюции получают те организмы, которые приобрели способность усваивать новые формы энергии или «научились» полнее использовать химическую энергию, запасенную в других организмах. В ходе биологической эволюции, таким образом, увеличивается «кпд» биосферы в целом. Чисто математически это показал В.В. Алексеев, который на основе расчетов пришел к следующим выводам: «Эволюция должна идти в направлении увеличения скорости обмена веществом в системе». И далее: «Становится понятным, почему образовались ферменты, роль которых заключается в резком увеличении скоростей реакций, идущих при обычных условиях исключительно медленно».

II биохимический принцип Вернадского получает подтверждения на самом разнообразном эмпирическом материале. Так, в 1956 г. почвовед В.Л. Ковда изложил

результаты химического исследования более 1300 образцов золы современных высших растений. На этом обширнейшем фактическом материале автор пришел к выводу, что (за несколькими исключениями) зольность растений возрастает от представителей древних таксонов к более молодым. Эта закономерность – одно из частных проявлений II биогеохимического принципа. Вообще же его проявления в биосфере очень многообразны и довольно неожиданны. Возьмем другой пример из области ботаники.

Магаданский ботаник А.П. Хохряков недавно установил своеобразную направленность эволюции высших растений – интенсификацию смен органов в ходе индивидуального развития организма. Так, по мнению Хохрякова, у древних древовидных плаунов – лепидодендронов – смене была подвержена только часть листьев. У более продвинутых в эволюционном отношении растений – папоротникообразных – опадают также только листья, но у них в единицу времени по отношению к массе всего тела сменяется большая часть, чем у лепидодендронов. У наиболее примитивных голосеменных – саговников – сменам также подвержены только листья, да и то за исключением оснований. У хвойных периодически сменяются ветви и кора. Наконец, на примере цветковых мы наиболее четко видим переход от многолетних форм (деревья и кустарники) к однолетним (травы). Этот же переход наблюдается и у других таксонов высших растений: среди древних хвощей и плаунов господствовали древовидные формы, а современные нам овощи и плауны – травы; среди папоротников в геологическом прошлом было много древовидных, а сейчас древовидные папоротники вымирают. Такая интенсификация смен, естественно, приводит к усилению биогенной миграции атомов в биосфере. И здесь «работает» II принцип...

III биогеохимический принцип также связан со «всюдностью» или «давлением» жизни. Этот фактор обеспечивает безостановочный захват живым веществом любой территории, где возможно нормальное функционирование живых организмов.

Ноосфера

Вернадский, анализируя геологическую историю Земли, утверждает, что, под действием новой геологической силы, научной мысли человечества, наблюдается переход биосферы в новое состояние – в ноосферу. Однако в трудах Вернадского нет законченного и непротиворечивого толкования сущности материальной ноосферы, как преобразованной биосферы. В одних случаях он писал о ноосфере в будущем

Таблица 6.1

Характер и локализация процессов, осуществляемых живым веществом

Род геологической деятельности	Характер процесса	Протекание процесса	
		внутри организма	вне организма
I	Химический (биохимический)	Переваривание пищи, построение тела организма	Выделение во внешнюю среду продуктов метаболизма и экскретов; внеклеточное пищеварение
II	Механический	Пропускание неорганических компонентов пищи через желудочный тракт грунтоедов и илоедов	а) Перемещение самого «живого вещества» (следствие этого – транспортировка биогенного вещества); б) перемещение неживого вещества организмами в ходе жизнедеятельности

времени (она еще не наступила), в других в настоящем (мы входим в нее), а иногда связывал формирование ноосферы с появлением человека разумного или с возникновением промышленного производства. Надо заметить, что когда в качестве минералога Вернадский писал о геологической деятельности человека, он еще не употреблял понятий «ноосфера» и даже «биосфера». О формировании на Земле ноосферы он наиболее подробно писал в незавершенной работе «Научная мысль как планетное явление», но преимущественно с точки зрения истории науки.

Итак, что же ноосфера – утопия или реальная стратегия выживания? Труды Вернадского позволяют более обоснованно ответить на поставленный вопрос, поскольку в них указан ряд конкретных условий, необходимых для становления и существования ноосферы. Перечислим эти условия:

1. Заселение человеком всей планеты;
2. Резкое преобразование средств связи и обмена между странами;
3. Усиление связей, в том числе политических, между всеми странами Земли;
4. Начало преобладания геологической роли человека над другими геологическими процессами, протекающими в биосфере;
5. Расширение границ биосферы и выход в космос;
6. Открытие новых источников энергии;
7. Равенство людей всех рас и религий;
8. Увеличение роли народных масс в решении вопросов внешней и внутренней политики;
9. Свобода научной мысли и научного искания от давления религиозных, философских и политических построений и создание в государственном строе условий, благоприятных для свободной научной мысли;
10. Продуманная система народного образования и подъем благосостояния трудящихся. Создание реальной возможности не допустить недоедания и голода, нищеты и чрезвычайно ослабить болезни;
11. Разумное преобразование первичной природы Земли, чтобы сделать ее способной удовлетворить все материальные, эстетические и духовные потребности численно возрастающего населения;

12. Исключение войн из жизни общества.

Проследим, насколько выполняются эти условия в современном мире, и остановимся более подробно на некоторых из них.

1. Заселение человеком всей планеты. Это условие выполнено. На Земле не осталось мест, где не ступала бы нога человека. Он обосновался даже в Антарктиде.

2. Резкое преобразование средств связи и обмена между странами. Это условие также можно считать выполненным. С помощью радио и телевидения мы моментально узнаем о событиях в любой точке земного шара. Средства коммуникации постоянно совершенствуются, ускоряются, появляются такие возможности, о которых недавно трудно было даже мечтать. И здесь нельзя не вспомнить пророческих слов Вернадского: «Этот процесс – полного заселения биосферы человеком – обусловлен ходом истории научной мысли, неразрывно связан со скоростью сношений, с успехами техники передвижения, с возможностью мгновенной передачи мысли, ее одновременного обсуждения на всей планете». До недавнего времени средства телекоммуникации ограничивались телеграфом, телефоном, радио и телевидением, о которых писал еще Вернадский. Имелась возможность передавать данные от одного компьютера к другому при помощи модема, подключенного к телефонной линии, документы на бумаге передавались с помощью факсимильных аппаратов. Только в последние годы развитие глобальной телекоммуникационной компьютерной сети Internet дало начало настоящей революции в человеческой цивилизации, которая входит сейчас в эру информации.

В 1968 г. Министерство обороны США озаботилось связью множества своих компьютеров в специальную сеть, которая должна была способствовать научным исследованиям в военно-промышленной сфере. Изначально к этой сети было предъявлено требование устойчивости к частичным повреждениям: любая часть сети может исчезнуть в любой момент. И в этих условиях всегда должно было быть возможным установить связь между компьютером-источником и компьютером-приемником информации (станцией назначения). Разработка проекта такой сети и его осуществление было поручено ARPA – Advanced Research Projects Agency – Управлению передовых исследований Министерства обороны.

Через пять лет напряженной работы такая сеть была создана и получила название ARPAnet.

В течение первых десяти лет развитие компьютерных сетей шло незаметно – их услугами пользовались только специалисты по вычислительной и военной технике. Но с развитием локальных сетей, объединяющих компьютеры в пределах одной какой-либо организации, появилась потребность связать воедино локальные сети различных организаций. Время от времени предпринимались попытки использовать для этого уже готовую сеть ARPAnet, но бюрократы Министерства обороны были против. Жизнь требовала быстрых решений, поэтому за основу будущей сети Internet была взята структура уже существующей сети ARPAnet. В 1973 г. было организовано первое международное подключение – к сети подключились Англия и Норвегия.

Однако причиной начала взрывного роста сети Internet в конце 80-х гг. стали усилия NSF (National Science Foundation – Национальный научный фонд США) и других академических организаций и научных фондов всего мира по подключению научных учреждений к сети. Рост и развитие сети Internet, совершенствование вычислительной и коммуникационной техники идет сейчас подобно тому, как идет размножение и эволюция живых организмов. На это в свое время обратил внимание Вернадский: «Со скоростью, сравнимой со скоростью размножения, выражаемой геометрической прогрессией в ходе времени, создается этим путем в биосфере все растущее множество новых для нее косных природных тел и новых больших природных явлений». «...Ход научной мысли, например, в создании машин, как давно замечено, совершенно аналогичен ходу размножения организмов». Если раньше сетью пользовались только исследователи в области информатики, государственные служащие и подрядчики, то теперь практически любой желающий может получить доступ к ней. И здесь мы видим воплощение мечты Вернадского о благоприятной среде для развития научной работы, популяризации научного знания, об интернациональности науки. Действительно, если раньше людей разделяли границы и огромные расстояния, то теперь, возможно, только языковой барьер. «Всякий научный факт, всякое научное наблюдение, – писал Вернадский, – где бы и кем бы они ни были сделаны, поступают в единый научный аппарат,

в нем классифицируются и приводятся к единой форме, сразу становятся общим достоянием для критики, размышлений и научной работы». Но если раньше для того, чтобы вышла в свет научная работа, чтобы научная мысль стала известной миру, требовались годы, то сейчас любой ученый, имеющий доступ к сети Internet, может представить свой труд, например, в виде так называемой WWW-странички (World-Wide Web – «Все-мирная паутина») на обозрение всем пользователям сети, причем не только текст статьи и рисунки (как на бумаге), но и подвижные иллюстрации, а иногда и звуковое сопровождение. Сейчас сеть Internet – это мировое сообщество около 30 тысяч компьютерных сетей, взаимодействующих между собой. Население Internet уже составляет почти 30 миллионов пользователей и около 10 миллионов компьютеров, причем количество узлов каждые полтора года удваивается. Вернадский писал: «Скоро можно будет сделать видными для всех события, происходящие за тысячи километров». Можно считать, что и это предсказание Вернадского сбылось.

3. Усиление связей, в том числе политических, между всеми странами Земли. Это условие можно считать если не выполненным, то выполняющимся. Возникшая после второй мировой войны Организация Объединенных Наций (ООН) оказалась гораздо более устойчивой и действенной, чем Лига наций, существовавшая в Женеве с 1919 г. по 1946 г.

4. Начало преобладания геологической роли человека над другими геологическими процессами, протекающими в биосфере. Это условие также можно считать выполненным, хотя именно преобладание геологической роли человека в ряде случаев привело к тяжелым экологическим последствиям. Объем горных пород, извлекаемых из глубин Земли всеми шахтами и карьерами мира, сейчас почти в два раза превышает средний объем лав и пеплов, выносимых ежегодно всеми вулканами Земли.

5. Расширение границ биосферы и выход в космос. В работах последнего десятилетия жизни Вернадский не считал границы биосферы постоянными. Он подчеркивал расширение их в прошлом как итог выхода живого вещества на сушу, появления высокоствольной растительности, летающих насекомых, а позднее летающих ящеров и птиц. В процессе

перехода в ноосферу границы биосферы должны расширяться, а человек должен выйти в космос. Эти предсказания сбылись.

6. Открытие новых источников энергии. Условие выполнено, но, к сожалению, с трагическими последствиями. Атомная энергия давно освоена и в мирных, и в военных целях. Человечество (а точнее, политики) явно не готово ограничиться мирными целями, более того – атомная (ядерная) сила вошла в наш век прежде всего как военное средство и средство устрашения противостоящих ядерных держав. Вопрос об использовании атомной энергии глубоко волновал Вернадского еще более полувека назад. В предисловии к книге «Очерки и речи» он пророчески писал: «Недалеко время, когда человек получит в свои руки атомную энергию, такой источник силы, который даст ему возможность строить свою жизнь, как он захочет... Сумеет ли человек воспользоваться этой силой, направить ее на добро, а не на самоуничтожение? Дорос ли он до умения использовать ту силу, которую неизбежно должна ему дать наука?»

Огромный ядерный потенциал поддерживается чувством взаимного страха и стремлением одной из сторон к зыбкому превосходству. Могущество нового источника энергии оказалось сомнительным, он пришелся не ко времени и попал не в те руки. Для развития международного сотрудничества в области мирного использования атомной энергии в 1957 г. создано Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ), объединившее к 1981 г. 111 государств.

7. Равенство людей всех рас и религий. Это условие если не достигнуто, то, во всяком случае, достигается. Решительным шагом для установления равенства людей различных рас и вероисповеданий было разрушение в конце прошлого века колониальных империй.

8. Увеличение роли народных масс в решении вопросов внешней и внутренней политики. Это условие соблюдается во всех странах с парламентской формой правления.

9. Свобода научной мысли и научного искания от давления религиозных, философских и политических построений и создание в государственном строе условий, благоприятных для свободной научной мысли. Трудно говорить о выполнении этого условия в стране, где еще совсем недавно наука находилась под колоссальным гнетом определенных философских и

политических настроений. Сейчас наука от таких давлений свободна, однако из-за тяжелого экономического положения в российской науке многие ученые вынуждены зарабатывать себе на жизнь не научным трудом, другие уезжают за границу. Для поддержания российской науки созданы международные фонды. В развитых и даже развивающихся странах, что мы видим на примере Индии, государственный и общественный строй создают режим максимального благоприятствования для свободной научной мысли.

10. Продуманная система народного образования и подъем благосостояния трудящихся. Создание реальной возможности не допустить недоедания и голода, нищеты и чрезвычайно ослабить болезни. О выполнении этого условия трудно судить объективно, находясь в большой стране, стоящей на пороге голода и нищеты, как об этом пишут все газеты. Однако Вернадский предупреждал, что процесс перехода биосферы в ноосферу не может происходить постепенно и однонаправлено, что на этом пути временные отступления неизбежны. И обстановку, сложившуюся сейчас в нашей стране, можно рассматривать как явление временное и преходящее.

11. Разумное преобразование первичной природы Земли, чтобы сделать ее способной удовлетворить все материальные, эстетические и духовные потребности численно возрастающего населения. Это условие, особенно в нашей стране, не может считаться выполненным, однако первые шаги в направлении разумного преобразования природы во второй половине XX в., несомненно, начали осуществляться. В современный период происходит интеграция наук на базе экологических идей. Вся система научного знания дает фундамент для экологических задач. Об этом также говорил Вернадский, стремясь создать единую науку о биосфере. Экологизация западного сознания происходила начиная с 70-х гг., создавая условия для возникновения экофильной цивилизации. Сейчас экстремистская форма зеленого движения оказалась там уже не нужной, поскольку заработали государственные механизмы регулирования экологических проблем. В СССР до 80-х гг. считалось, что социалистическое хозяйствование препятствует угрозе экологического кризиса. В период перестройки этот миф развеялся, активизировалось движение зеленых. Однако в современный период политическое руководство

переориентировалось в основном на решение экономических проблем, проблемы экологии отошли на задний план. В мировом масштабе для разрешения экологической проблемы в условиях роста населения планеты требуется способность решения глобальных проблем, что в условиях суверенитета различных государств кажется сомнительным.

12. Исключение войн из жизни общества. Это условие Вернадский считал чрезвычайно важным для создания и существования ноосферы. Но оно не выполнено и пока не ясно, может ли оно быть выполнено. Мировое сообщество стремится не допустить мировой войны, хотя локальные войны еще уносят многие жизни.

Таким образом, мы видим, что налицо все те конкретные признаки, все или почти все условия, которые указывал В.И. Вернадский для того, чтобы отличить ноосферу от существовавших ранее состояний биосферы. Процесс ее образования постепенный, и, вероятно, никогда нельзя будет точно указать год или даже десятилетие, с которого переход биосферы в ноосферу можно будет считать завершенным. Но, конечно, мнения по этому вопросу могут быть разные.

Сам Вернадский, замечая нежелательные, разрушительные последствия хозяйствования человека на Земле, считал их некоторыми издержками. Он верил в человеческий разум, гуманизм научной деятельности, торжество добра и красоты. Что-то он гениально предвидел, в чем-то, возможно, он ошибался. Ноосферу следует принимать как символ веры, как идеал разумного человеческого вмешательства в биосферные процессы под влиянием научных достижений. Надо в нее верить, надеяться на ее пришествие, предпринимать соответствующие меры.

Роль человеческого фактора в развитии биосферы

Центральной темой учения о ноосфере является единство биосферы и человечества. Вернадский в своих работах раскрывает корни этого единства, значение организованности биосферы в развитии человечества. Это позволяет понять место и роль исторического развития человечества в эволюции биосферы, закономерности ее перехода в ноосферу.

Одной из ключевых идей, лежащих в основе теории Вернадского о ноосфере, является то, что человек не является самодостаточным живым существом, живущим отдельно по своим законам, он сосуществует внутри природы и является частью ее. Это единство обусловлено прежде всего функциональной неразрывностью окружающей среды и человека, которую пытался показать Вернадский как биогеохимик. Человечество само по себе есть природное явление, и естественно, что влияние биосферы сказывается не только на среде жизни, но и на образе мысли людей.

Но не только природа оказывает влияние на человека, существует и обратная связь. Причем, она не поверхностная, отражающая физическое влияние человека на окружающую среду, она гораздо глубже. Это доказывает тот факт, что в последнее время заметно активизировались планетарные геологические силы. Это совпало, едва ли случайно, с проникновением в научное сознание убеждения о геологическом значении Homo sapiens, с выявлением нового состояния биосферы – ноосферы – и является одной из форм ее выражения. Оно связано, конечно, прежде всего с уточнением естественной научной работы и мысли в пределах биосферы, где живое вещество играет основную роль. Так, в последнее время резко меняется отражение живых существ на окружающей природе. Благодаря этому процесс эволюции переносится в область минералов. Резко меняются почвы, воды и воздух, т.е. эволюция видов сама превратилась в геологический процесс, так как в процессе эволюции появилась новая геологическая сила. Вернадский писал: «Эволюция видов переходит в эволюцию биосферы».

Здесь естественно напрашивается вывод о том, что геологической силой является собственно вовсе не Homo sapiens, а его разум, научная мысль социального человечества. В «Философских мыслях натуралиста» Вернадский писал: «Мы как раз переживаем ее яркое вхождение в геологическую историю планеты. В последние тысячелетия наблюдается интенсивный рост влияния одного видового живого вещества – цивилизованного человечества – на изменение биосферы. Под влиянием научной мысли и человеческого труда биосфера переходит в новое состояние – в ноосферу».

Мы являемся наблюдателями и исполнителями глубокого изменения биосферы. Причем, перестройка окружающей среды научной человеческой мыслью посредством организованного труда вряд ли является стихийным процессом. Корни этого лежат в самой природе и были заложены еще миллионы лет назад в ходе естественного процесса эволюции. «Человек... составляет неизбежное проявление большого природного процесса, закономерно длящегося в течение, по крайней мере, двух миллиардов лет».

Отсюда, кстати, можно заключить, что высказывания о самоистреблении человечества, о крушении цивилизации не имеют под собой веских оснований. Было бы по меньшей мере странно, если бы научная мысль – порождение естественного геологического процесса – противоречила бы самому процессу. Мы стоим на пороге революционных изменений в окружающей среде: биосфера посредством переработки научной мыслью переходит в новое эволюционное состояние – ноосферу.

Заселяя все уголки нашей планеты, опираясь на государственно организованную научную мысль и на ее порождение, технику, человек создал в биосфере новую биогенную силу, поддерживающую размножение и дальнейшее заселение различных частей биосферы. Причем, вместе с расширением области жительства, человечество начинает представлять собой все более сплоченную массу, так как развивающие средства связи – средства передачи мысли окутывают весь земной шар. «Этот процесс – полного заселения биосферы человеком – обусловлен ходом истории научной мысли, неразрывно связан со скоростью сношений, с успехами техники передвижения, с возможностью мгновенной передачи мысли, ее одновременного обсуждения всюду на планете».

При этом человек впервые реально понял, что он житель планеты и может и должен мыслить и действовать в новом аспекте, не только в аспекте отдельной личности, семьи или рода, государств или их союзов, но и в планетном аспекте. Он, как и все живое, может мыслить и действовать в планетном аспекте только в области жизни – в биосфере, в определенной земной оболочке, с которой он неразрывно, закономерно связан и уйти из которой он не может. Его существование есть ее функция. Он несет ее с собой всюду. И он ее неизбежно, закономерно, непрерывно изменяет. Похоже, что впервые мы

находимся в условиях единого геологического исторического процесса, охватившего одновременно всю планету. Конец XX в. и начало XXI века характерен тем, что любые происходящие на планете события связываются в единое целое. И с каждым днем социальная, научная и культурная связанность человечества только усиливается и углубляется.

Результат всех вышеперечисленных изменений в биосфере планеты дал повод французскому геологу Тейяр де Шардену заключить, что биосфера в настоящий момент быстро геологически переходит в новое состояние – в ноосферу, т.е. такое состояние, в котором человеческий разум и направляемая им работа представляют собой новую мощную геологическую силу. Это совпало, видимо, не случайно, с тем моментом, когда человек заселил всю планету, все человечество экономически объединилось в единое целое, и научная мысль всего человечества слилась воедино, благодаря успехам в технике связи. Таким образом:

– человек, как он наблюдается в природе, как и все живые организмы, как всякое живое вещество, есть определенная функция биосферы, в определенном ее пространстве-времени;

– человек во всех его проявлениях представляет собой часть биосферы;

– прорыв научной мысли подготовлен всем прошлым биосферы и имеет эволюционные корни. Ноосфера – это биосфера, переработанная научной мыслью, подготавливающейся всем прошлым планеты, а не кратковременное и переходящее геологическое явление.

Вернадский неоднократно отмечал, что «цивилизация «культурного человечества» – поскольку она является формой организации новой геологической силы, создавшейся в биосфере, – не может прерваться и уничтожиться, так как это есть большое природное явление, отвечающее исторически, вернее, геологически сложившейся организованности биосферы. Образуя ноосферу, она всеми корнями связывается с этой земной оболочкой, чего раньше в истории человечества в сколько-нибудь сравнимой мере не было».

Многое из того, о чем писал Вернадский, становится достоянием сегодняшнего дня. Современны и понятны нам его мысли о целостности, неделимости цивилизации, о единстве биосферы и человечества. Переломный момент в истории

человечества, о чем сегодня говорят ученые, политики, публицисты, был увиден Вернадским.

Вернадский видел неизбежность ноосферы, подготавливаемой как эволюцией биосферы, так и историческим развитием человечества. С точки зрения ноосферного подхода, по-иному видятся и современные болевые точки развития мировой цивилизации. Варварское отношение к биосфере, угроза мировой экологической катастрофы, производство средств массового уничтожения – будем надеяться, что все это имеет преходящее значение. Вопрос о коренном повороте к истокам жизни, к организованности биосферы в современных условиях должен звучать как набат, призыв к тому, чтобы мыслить и действовать, в биосферном – планетном аспекте.

Биосфера находится на стыке литосферы, гидросферы и атмосферы и играет важнейшую роль в обмене веществ между ними. Огромные количества кислорода, углерода, азота, водорода и других элементов постоянно проходят через живые организмы Земли. Вернадский показал, что практически все элементы в таблице Менделеева включаются в живое вещество планеты и выделяются из него при распаде. Поэтому лик Земли как небесного тела сформировался под влиянием жизни.

Вернадский же подчеркнул огромную геологическую роль человека. Он показал, что будущее биосферы – это ноосфера, т.е. сфера разума. Учёный верил в силу человеческого разума, в его способность решить проблемы экологии и экологического равновесия с природой.

Исследование проблемы социоприродного взаимодействия в последнее время приобретает две определенно выраженные особенности. С одной стороны, социоприродная проблематика все более конкретизируется, приобретая форму локальных естественно-научных проблем, с другой – возможности конкретно-научного анализа оказываются значительно подорванными издержками собственной методологической базы. Процесс исследования проблемы на прикладном уровне уже достиг такой стадии, когда собственного методологического арсенала оказывается недостаточно не только для необходимого теоретического обобщения имеющегося эмпирического материала и создания собственных концептуальных схем, но и для формирования изначальных целевых установок, определяющих основные направления

научного поиска. Традиционный характер прикладного исследования, когда познавательный процесс ограничен рамками анализа отдельного биосферного компонента, с заключительной констатацией антропогенных аномалий, не может в должной мере удовлетворить потребности современной теории и практики социального природопользования. От науки требуются ответы на вопросы, которые не могут быть получены в рамках отдельной научной дисциплины, а предполагают ее интеграцию не только с родственными конкретными дисциплинами, но и с философией, в частности – с диалектическим материализмом.

Эффективность междисциплинарного подхода к проблеме социоприродного взаимодействия отмечал еще В.И. Вернадский. «Мы все больше специализируемся не по наукам, а по проблемам, – писал он. – Это позволяет, с одной стороны, чрезвычайно углубиться в изучаемое явление, а с другой – расширить охват со всех точек зрения». Можно отметить, что успех такого объединения зависит не только от того, насколько каждая из дисциплин может осветить свой пласт проблем, но также от уровня согласованности между науками, от того, насколько верно определены функции каждой из дисциплин в отношении друг к другу.

Если для конкретных экологических дисциплин характерно стремление определить степень, формы, характер различных патологий (в том числе антропогенных) в системе биосферных комплексов, то для философии важно общеметодологическое обеспечение исследовательского процесса. Оно состоит в осуществлении функций междисциплинарной интеграции, выявлении адекватности теоретических естественно-научных схем уровню системной организованности объекта, содействии в разработке новых методов и познавательных процедур в моменты перехода научного знания на новый уровень анализа объектов, развитии понятийного и концептуального аппарата в связи с расширением границ познавательной деятельности и включением в сферу исследования качественно новых объектов и т.д. Важным шагом в естественно-научном экологическом исследовании является поиск оптимальных вариантов взаимодействия человека и природы.

Прежде чем говорить о том, в какой форме протекают негативные антропогенные процессы, каковы уровень

аномальных изменений в конкретном природном комплексе и пути его преодоления, следует определить исходные позиции, выявить определенную точку отсчета, в соответствии с которой могут быть определены степень и форма изменений.

В идеальном варианте этой отправной точкой должно служить достаточно полное представление о параметрах функционирования биосферы, безотносительно к человеку. Знание основных законов организации и функционирования биосферной системы позволило бы построить целостную картину оптимального состояния природной среды в ее взаимодействии с социальной системой, в пределах которых возможны различные антропогенные изменения. В этом случае появилась бы возможность создать (не впадая в крайности натурфилософии) своеобразную метатеорию, определяющую характер конкретного естественно-научного поиска.

Однако ситуация сложилась таким образом, что отвечать на поставленные практикой социального природопользования вопросы приходится раньше, чем в естествознании появились соответствующие теоретические предпосылки, где до сих пор не сложилось четкого представления об основных принципах самоорганизации биосферных систем, не выявлены самообразующие факторы в природных комплексах, высказываются противоположные (порой взаимоисключающие) предположения о механизме биосферной эволюции, крайне противоречивы представления о прогрессивной направленности эволюционного процесса и т.д.

Нынешние масштабы техногенных изменений биосферы не укладываются в рамки имеющихся теоретических разработок, а создание новой теории, способной отразить содержание глобальных антропогенных изменений, – довольно проблематичная перспектива. В сложившейся ситуации, когда теория социального природопользования не может быть выведена из развитых естественно-научных предпосылок, можно поставить вопрос о характере ее становления, о роли философии в формировании целостной естественно-научной картины социоприродного взаимодействия.

При рассмотрении глобальных проблем, включающих большое количество граней, сторон, форм проявления, можно, в первом приближении, ограничиться какими-либо наиболее репрезентативными аспектами. В нашем случае роль подобного

репрезента может играть проблема качества природной среды, являющаяся концентрированным выражением если не всей совокупности социоприродной проблематики, то, безусловно, наиболее существенной ее части.

Понятие качества природной среды относится к достаточно устоявшимся в социальной экологии, несмотря на некоторую абстрактность его содержания. Отдельные аспекты качества выражены в частных понятиях: «качество воды», «качество воздуха», в какой-то мере – «качество почвы». Эти термины, широко используемые при оценке состояния природных комплексов, наполнены практическим содержанием, но они и исчерпывают всю конкретику понятия качества природной среды, в отношении которого сохраняется неопределенность, приводящая к авторскому волюнтаризму. В этом отношении характерно звучит вывод одного из участников советско-американского симпозиума, посвященного проблемам контроля за качеством природной среды, о том, что термин «качество природной среды» имеет столько значений, сколько людей пытается его определить.

В сложной системе биосферы такие элементы, как вода, воздух, играют принципиальную роль, входят в состав каждой экологической системы и обеспечивают процессы метаболизма на любом уровне организации биологических структур. Но теоретическая разработанность этих терминов, их содержательная наполненность объясняются прежде всего тем, что они имеют определяющее значение для нормального функционирования собственно человеческого организма. Различные изменения в структуре данных компонентов прямым образом сказываются на его жизнедеятельности.

Такое исследование проблемы качества природы ограничивается в основном обсуждением методики контроля за изменениями процентного содержания вредных примесей в атмосфере, поиском технически эффективных средств контроля за термальными колебаниями в воздушной и водной средах, выявлением возможности математической обработки результатов комплексного мониторинга и т.д. Понятие качества среды по существу связано с представлением об оптимальности санитарно-гигиенических критериев, сформулированных в рамках прикладных медико-биологических дисциплин.

Данное представление содержит в себе ряд как положительных, так и негативных моментов. Прежде всего оно отражает, с приблизительной степенью адекватности, реалии обыденной практики. Выступая нормативным положением, основывающимся на результатах достаточно полного эмпирического материала, она выполняет свою узкую специальную функцию контроля за динамикой биосферы в процессе антропогенеза, фиксируя негативные стохастические процессы в окружающей человека среде.

Узость и чрезмерная специализированность существующих критериев в оценке состояния природы – негативная сторона такого подхода. Существующие представления о качестве не только не могут быть сведены в единую систему комплексной оценки реальных биосферных процессов, но в своем конкретном проявлении часто находятся в состоянии взаимного противоречия, не имеющем должного методологического обоснования выбора уровня оптимальности. В этом случае субъективность как в выборе целевых установок при формализации сложного объекта, так и в разграничении экологических факторов по степени социальной значимости обусловлена отсутствием объективных онтологических критериев для сопоставления переменных, имеющих принципиально-несводимые параметры, например, такие как степень экологической устойчивости вида и его социальная значимость.

Положение, когда отмечается принципиальная несводимость качественных характеристик к единому знаменателю, постоянно создает дилемму приоритета одного фактора над другим, а она разрешается в большинстве своем в соответствии с субъективным представлением о модальности природных явлений. Решение проблемы отдается по существу на откуп интуиции исследователя, и в этом случае всегда существует опасность противоречия, когда мероприятия по улучшению качества отдельного элемента оказываются катастрофическими для другого. Так, повышение водного потенциала какой-то территории путем зарегулирования стока рек пагубно сказывается на состоянии рыбных запасов из-за уменьшения размеров и изменения сроков затопления естественных нерестилищ; увеличение плодородия почв путем

введения органических соединений ведет к ускорению процессов эвтрофикации водоемов.

Такая ситуация, когда любая попытка поэлементного улучшения качества среды помимо запланированных результатов влечет за собой цепь деструктивных процессов в природе и негативные последствия такого воздействия, совершенно обесценивает полученный результат, часто вызывает определенную растерянность у исследователя. С мировоззренческой точки зрения, он приходит к позиции отрицания любой формы воздействия на природную среду, а в методологическом плане, в процессе прикладной работы вынужден руководствоваться принципом: «Качественно то, что хорошо с точки зрения моей науки, моей отрасли, моего подхода». Таким образом, представления о качестве природной среды у ученых, принадлежащих к различным школам и направлениям, оказываются взаимонесводимыми.

Другой актуальной проблемой является то логическое противоречие, которое неизбежно возникает при попытке описать проблему качества, исходя из имеющихся стандартов. Введение различных стандартов типа ПДК (предел допустимой концентрации), ПДН (предел допустимой нагрузки) и других – мера вынужденная, вызванная невозможностью комплексной оценки разнонаправленных изменений в системе биосферы под воздействием техногенного фактора. Введение статических критериев для описания динамического эволюционирующего объекта изначально содержит в себе внутреннее противоречие. Совершенно очевидно, что такие критерии могут иметь только одностороннюю линейную направленность, способны отразить оптимальность условий существования лишь одного из объектов в ущерб другим компонентам системы. Функциональная ограниченность такого подхода и обусловливает откровенно антропоцентрический характер системы существующих стандартов качества среды. Расширительному толкованию подобные критерии не подлежат, ибо попытки подобным же образом сформировать аналогичную систему по отношению к другому элементу приходят в противоречие с имеющейся.

Представление о качественном как оптимальном, наиболее благоприятном для биологии человека состоянии конкретного класса природных комплексов основано на статичном восприятии объекта, не учитывающем его эволюционной сути.

Здесь отмечается следующая особенность: качество как выражение оптимальности в его связях с человеком предполагает неизменность сущностных характеристик, обусловленную постоянством количественных параметров объекта, т.е. содержанием различных компонентов в структуре биосферного комплекса, количественной определенностью термальных характеристик, числовой упорядоченностью энтропийных процессов и т.д. Сопряженность категорий «качество» и «количество» оказывается в этом случае урезанной: под качеством понимается степень соответствия социальному элементу, являющемуся «внешним», не включенным в природную систему фактором, а «количество» по существу сведено к одному из всего многообразия ее проявлений, к числовому выражению, что значительно обедняет ее содержание.

Сложившаяся в современном естествознании ситуация разобщенности по вопросу о качестве природной среды стала серьезным препятствием для формирования стратегии оптимального природопользования.

Характерной особенностью современных естественно-научных исследований различных аспектов качества природы является концептуальный разрыв в целостном восприятии проблемы, отсутствие должной связи между общетеоретическими основаниями исследуемой проблемы и ее функционально-прикладной частью. В результате складывается парадоксальная ситуация, когда активно разрабатывается методика контроля за качеством окружающей среды, обосновываются важнейшие принципы экологического мониторинга, развивается система понятий, отражающих процесс изменения качества среды, делаются попытки выявления количественных, числовых параметров качества природных элементов и вместе с тем существуют самые неопределенные представления о том, что такое качество природной среды, полностью отсутствует теоретико-методологический базис в исследовании этой проблемы.

Современная концепция экологии

О проблемах экологии по-настоящему заговорили в 70-е гг. нашего века, когда не только специалисты, но и рядовые

граждане почувствовали, какую возрастающую угрозу несет нынешнему и будущим поколениям техногенная цивилизация. Загрязнение атмосферы, отравление рек и озер, кислотные дожди, все увеличивающиеся отходы производства, в особенности использованных радиоактивных веществ, и многое другое – все это не могло не повлиять на рост интереса широких слоев населения к проблемам экологии. В связи с этим изменился и сам взгляд на предмет экологии. Сам термин «экология» был введен Э. Геккелем свыше ста лет назад, и как самостоятельная научная дисциплина экология формировалась еще в 1900 г., тем не менее, долгое время она оставалась чисто биологической дисциплиной. В настоящее время экология вышла уже из этих узких рамок и стала по сути дела междисциплинарным направлением исследований процессов, связанных с взаимодействием биосферы и общества. Как указывает известный специалист по этим вопросам Ю. Одум, сейчас экология оформилась в принципиально новую интегрированную дисциплину, связывающую физические и биологические явления и образующую мост между естественными и общественными науками. О связи экологии с общественными и гуманитарными науками свидетельствует появление таких ее разделов, как социальная, медицинская, историческая, этическая экологии. Более полное представление об экологии и ее задачах мы получим, если будем рассматривать структуру и динамику различных экологических систем, а также разные уровни их организации и иерархии.

Экологические системы и их структуры

К экологическим системам обычно относят все живые системы вместе с окружающей их средой, начиная от отдельной популяции и кончая биосферой. Все они являются *открытыми* системами, которые обмениваются с окружающей природной средой веществом, энергией или информацией. Наименьшей единицей экологии является совокупность организмов определенного вида, которые взаимодействуют между собой внутри вида, а вид как целостная система – с окружающей средой. Следовательно, ни молекулярный, ни клеточный, ни организменный уровни, о которых шла речь выше, не рассматриваются в экологии, хотя и живая молекула, и клетка, и

тем более организм представляют собой открытые системы, которые могут существовать благодаря взаимодействию со средой. Даже отдельные популяции в чистом виде выделить трудно, поскольку в естественной природе они объединяются в более обширные сообщества живых систем и взаимодействуют также с неживыми факторами среды. На популяционном уровне, как мы видели, различают такие сообщества, или экологические системы, как биоценозы и биогеоценозы, в которых сообщества живых организмов исследуются в тесной связи с неорганическими условиями их существования, например, почвой, микроклиматом, гидрологией местности и т.п. Еще более крупным системным объединением в экологии считается *биом,* который включает в свой состав живые системы и неживые факторы на обширной территории, например, лиственные породы деревьев на среднерусской возвышенности. Наконец, биосфера охватывает, согласно В.И. Вернадскому, все живое, биокосное и косное вещество на поверхности нашей планеты. И хотя она в известных пределах функционирует автономно, но в конечном итоге может существовать и развиваться только за счет энергии Солнца и потому является также открытой системой, которую, в отличие от других систем, называют *экосферой.*

В экологии наибольшее значение для изучения структуры ее систем приобретает анализ тех *трофических,* или пищевых, связей, которые соединяют различные популяции друг с другом. О них кратко говорилось выше, но теперь мы обратимся к более подробной классификации, чтобы выяснить механизм функционирования трофических связей. Как и раньше, будем различать автотрофные и гетеротрофные организмы соответственно тому, питаются ли они самостоятельно за счет преобразования неорганической энергии или же поедают другие живые организмы. Поэтому в экосистеме можно выделить два уровня:

– на верхнем, *автотрофном* уровне, который называют также зеленым поясом, мы встречаемся с растениями, содержащими хлорофилл и перерабатывающими солнечную энергию и простые неорганические вещества в сложные органические соединения;

– на нижнем, *гетеротрофном* уровне происходит преобразование и разложение этих органических соединений в

простые. Таким образом, в механизме трофических связей можно выделить следующие элементы:

– *продуценты* автотрофных организмов, главным образом зеленых растений, которые могут производить пищу из простых неорганических веществ;

– *фаготрофы,* к которым принадлежат гетеротрофные животные, питающиеся другими живыми организмами, растительными и животными;

– *сапротрофы,* которые получают энергию путем разложения мертвых тканей или растворенного органического вещества. В связи с этим гетеротрофные организмы разделяют на *биофагов,* поедающих живые организмы, и *сапрофагов,* питающихся мертвыми тканями.

Одна из характерных черт всех экосистем состоит в том, что в них происходит постоянное взаимодействие автотрофных и гетеротрофных подсистем организмов. Такое взаимодействие приводит к круговороту вещества в природе, несмотря на то, что иногда организмы разделены в пространстве. Как мы видели, автотрофные процессы наиболее интенсивно протекают на зеленом ярусе системы, где растениям доступен солнечный свет, в то время как на нижнем ярусе усиленно протекают гетеротрофные процессы. Аналогичный разрыв между этими процессами может происходить и во времени, причем значительный разрыв между производством органического вещества автотрофами и гетеротрофами приводит к его накоплению. Именно благодаря такому временному разрыву на нашей планете образовались огромные запасы ископаемого топлива. Взаимодействия между частями и целым в экологических системах могут исследоваться двумя путями. С одной стороны, изучением свойств частей и экстраполяцией их на свойства целого. Такое сведение свойств целого к сумме свойств его частей представляет собой типичный случай редукционизма и потому сталкивается с немалыми трудностями. С другой стороны, признание специфичности свойств целого, несводимости их к свойствам частей открывает значительные перспективы для исследования и получения эффективных новых результатов. Обычно в конкретных исследованиях *системный* метод изучения становится совершенно необходимым в тех случаях, когда части целого настолько тесно связаны между собой, что их *трудно* отделять *друг* от друга и

посредством такого приема получать знание о свойствах системы в целом. В противоположность этому *суммативный* метод используется тогда, когда отдельные части совокупности могут изучаться относительно независимо друг от друга, и поэтому свойства целого можно выявить путем суммирования свойств частей. Отсюда становится ясным, что каждый из этих методов следует применять на своем месте, в зависимости от конкретных условий исследования, а следовательно, они не исключают, а предполагают и дополняют друг друга. Суммативный подход часто оказывается целесообразным при проведении экспериментов с такими экологическими совокупностями, которые исследуют, например, воздействие различных внешних факторов на систему. Системный подход нередко используется при построении теоретических моделей, когда необходимо выяснить взаимодействие различных частей экосистемы. *Моделирование* представляет собой абстрактное выражение реальных процессов, происходящих в природе. Оно может осуществляться в словесной форме с помощью соответствующих понятий и величин, характеризующих поведение и развитие экосистем. Нередко для большей ясности и наглядности в этих же целях используются графические модели. Поскольку важной целью моделирования является предсказание поведения системы в различных условиях и в разные периоды времени, постольку в последние годы в экологии стали чаще прибегать к построению математических моделей, начиная от простейших, типа так называемого черного ящика, и кончая сложнейшими, в которых учитывается действие большого числа переменных. Для их расчета используются мощные компьютеры и другая вычислительная техника.

Взаимодействие экосистемы и окружающей ее среды

В биологических исследованиях, в особенности в классической теории эволюции, обычно делается упор на изучение воздействия окружающей среды на живые организмы и их системы. Именно под таким углом зрения рассматривается действие различных факторов на их эволюцию. Однако живые системы отнюдь не являются пассивными в этом взаимодействии. Они, в свою очередь, оказывают мощное

воздействие на окружающую их среду. В наибольшей степени такое воздействие можно проследить на примере больших экосистем. Именно на такого рода факты опирается известная *гипотеза Геи,* выдвинутая в 1970-е гг. физиком и изобретателем Д. Лавлоком и микробиологом Л. Маргулис. Свое название эта гипотеза получила от древнегреческого слова «гея», обозначающего землю. Она предлагает совершенно иной подход к причинам и факторам становления жизни на нашей планете. Если традиционно допускают, что жизнь на Земле появилась после того, когда возникла сначала атмосфера со значительным содержанием в ней кислорода, то, согласно гипотезе Геи, образование кислорода и атмосферы в целом обязано воздействию тех простейших живых организмов, которые в анаэробных, т.е. бескислородных, условиях стали выделять в окружающее пространство кислород. Свое предположение авторы гипотезы подтверждают ссылкой на то, что на близких к Земле планетах Марсе и Венере их атмосфера состоит соответственно на 95 и 98% из углекислого газа, кислорода же Марс содержит 0,13%, а на Венере замечены лишь его следы. Примерно такая же картина наблюдалась бы на безжизненной Земле. Конечно, гипотеза Геи нуждается в дальнейших разработке и обосновании, но опирается она на важную и в общем виде признаваемую многими идею, что жизнь обеспечивает условия для своего дальнейшего существования и развития. Эта идея отнюдь не является чистым умозрением, а подтверждается многочисленными фактами из истории развития органического мира. Факты также свидетельствуют, что экосистема не только испытывает воздействие со стороны окружающей среды, но в свою очередь оказывает обратное действие на нее и соответствующим образом ее формирует. Поскольку экосистема – система открытая, она не может не взаимодействовать со своим окружением и тем самым не влиять на него. Только постоянное и непрерывное взаимодействие со средой поддерживает жизненные процессы в любой экосистеме. В результате такого взаимодействия осуществляется постоянный обмен энергией и веществом между экосистемой и средой, что проявляется, во-первых, в усвоении абиотических, или неорганических, факторов среды (солнечная энергия, вода, минеральные вещества и т.п.), во-вторых, биотических, или органических, факторов посредством тех трофических

(пищевых) связей, которые существуют *между* разными живыми системами. Функционирование и эволюция экосистем зависят не только от круговорота вещества и энергии, существующего в природе. Чтобы выжить, а тем более развиваться, экосистемы должны соответствующим образом регулировать свою деятельность и управляться, а это требует установления информационных связей между различными подсистемами и элементами системы. Наряду с потоками энергии и круговоротом вещества, экосистемы связаны также информационными сетями. Управление и регулирование в них осуществляется с помощью физических и химических элементов. Такие управляющие системы по своему функциональному назначению можно рассматривать как *кибернетические.* Однако в отличие от искусственных систем, созданных человеком, в природных экосистемах элементы управления рассредоточены внутри самой системы, и поэтому процесс регулирования и управления в них не происходит из внешнего специального органа управления, как в технических кибернетических системах. Согласно кибернетическим принципам, всякий процесс управления связан с передачей и преобразованием информации. Для устойчивого динамического функционирования системы необходимо, во-первых, наличие *прямых сигналов,* несущих информацию от управляющего к исполнительному устройству, во-вторых, *обратных сигналов,* которые информируют управляющее устройство об исполнении команд. Получив такие сигналы, управляющее устройство отдает команду о корректировке системы, если ее положение отклоняется от заданного или установленного. Именно таким способом осуществляется автоматическое регулирование не только в кибернетических системах, но и в живых организмах. В физиологии этот способ поддержания динамического равновесия был сформулирован американским физиологом У. Кенноном (1871–1945) в виде принципа *гомеостаза,* согласно которому все важнейшие параметры организма (температура тела, частота пульса и дыхания, состав крови и кровяное давление и др.) поддерживаются на постоянном уровне благодаря обратным сигналам, поступающим из органов в головной мозг. Кибернетика обобщила это положение в виде *принципа обратной связи.* Нетрудно понять, что указанный принцип объясняет лишь процесс достижения и сохранения

динамического равновесия в любой системе, но для того чтобы понять, как происходят эволюция и развитие систем, необходимо признать возникновение изменений в состоянии и структуре систем. А для этого следует ввести принцип *положительной обратной связи,* согласно которому непрерывные воздействия на систему, постепенно накапливаясь, приводят к разрушению прежних связей между ее частями и возникновению новой ее структуры.

В экосистемах живой природы действие этих принципов приобретает более сложный характер, поскольку, как мы видели, регулирующие центры в них диффузны или распределены внутри всей системы, а наличие *избыточности,* когда одна и та же функция выполняется несколькими компонентами, обеспечивает необходимую *стабильность* системы. Эта стабильность зависит от множества условий, но определяющие среди них — степень сопротивления внешней среды и эффективность работы управляющих механизмов самой системы. Для более конкретной характеристики стабильности экоси*стем* обычно вводят понятие *резистентной устойчивости,* которая определяется как способность системы сопротивляться внешним нагрузкам и оставаться при этом устойчивой. Понятие *упругой устойчивости* характеризует способность системы быстро восстанавливать свою устойчивость. При благоприятных условиях внешней среды экосистемы обычно повышают свою сопротивляемость усложнением внутренней структуры. Внезапные и случайные изменения внешней среды (например, штормы) могут резко снизить устойчивость экосистемы и даже разрушить ее. Таким образом, тесная взаимосвязь и взаимодействие между живыми организмами и окружающей средой представляют собой характерную особенность всех экосистем. Хотя отдельный организм, будучи открытой системой, также взаимодействует с окружением, тем не менее, взаимодействие экосистемы со средой имеет более эффективный и устойчивый характер. Эта особенность проявляется прежде всего в достижении большей стабильности функционирования и развития экосистем в сравнении с отдельными организмами в результате установления информационных связей между отдельными организмами в рамках системы, возникновения иерархических отношений между отдельными подсистемами, которые приводят

к усложнению ее структуры. В связи с этим, еще раз следует подчеркнуть, что любая экосистема, начиная от популяции и кончая экосферой, представляет собой *над-организменный* уровень организации живого в природе, качественно отличающийся от отдельного организма. Именно в результате единения отдельных организмов в рамках целого, их взаимодействия друг с другом экосистема приобретает новые, системные свойства, которые отсутствуют у отдельных организмов. Соответственно этому, меняются и различные отношения и связи экосистемы с окружающей средой. Наиболее важными и по существу решающими являются энергетические связи.

Энергетическая характеристика экосистем

Если проследить процессы превращения и получения энергии в экосистемах, то нельзя не прийти к тому выводу, который сделал упоминавшийся выше Майер, утверждавший, что жизнь есть создание солнечного луча. Действительно, лучистая энергия Солнца посредством фотохимического синтеза сначала преобразуется зелеными растениями в органические соединения, которые впоследствии служат пищей для растительноядных животных, а последние, в свою очередь, – пищей для других животных. Кроме того, задолго до этого органическое вещество, заготовленное на протяжении тысячелетий растениями, как и сами растения, особенно деревья, подверглось многочисленным химическим превращениям и образовало то ископаемое топливо, которое до сих пор служит важнейшим источником энергии для общества. В экосистемах происходит постоянное преобразование рассеянной в пространстве солнечной энергии в более концентрированные ее формы сначала автотрофными растениями, а затем гетеротрофными животными и человеком. При этом на каждой стадии превращения энергии происходит также ее диссипация, или рассеяние, в окружающее пространство. Для характеристики этих процессов нам необходимо привлечь законы термодинамики, но их необходимо конкретизировать применительно к экосистемам. Закон сохранения энергии полностью применим и к этим системам, ибо никогда не наблюдались случаи создания энергии из ничего.

Энергия может лишь превращаться из одной формы в другую, но она никогда и никуда не исчезает.

Второй закон термодинамики, который в физике обычно формулируют с помощью понятия энтропии, в экологии предпочитают выражать посредством утверждения о преобразовании концентрированной энергии в рассеянную. Процесс концентрации рассеянной солнечной энергии происходит, как уже говорилось выше, в различных живых системах и охватывает длительный период времени. Полученная концентрированная энергия может быть в дальнейшем использована в экосистемах в виде пищи, а в технике — как ископаемое топливо. В обоих случаях будет происходить преобразование концентрированной энергии в рассеянную. Какую энергию можно считать концентрированной?

С экологической точки зрения, энергия по способу своего получения будет тем больше концентрированной, чем дальше отстоит источник ее получения, например, пища, от начала превращения рассеянной солнечной энергии, т.е. от автотрофных организмов, а именно зеленых растений и микроорганизмов.

В физических терминах концентрированную энергию можно определить как обладающую низкой степенью энтропии, т.е. характеризующуюся меньшей степенью беспорядка. Ведь в результате концентрации энергии происходит выведение беспорядка из системы во внешнюю среду. Поэтому, если беспорядок в системе уменьшается, то во внешней среде он увеличивается. В отличие от концентрации, рассеяние энергии сопровождается возрастанием беспорядка в системе. Поэтому если система останется закрытой, то она окажется полностью дезорганизованной, т.е. придет в состояние максимального беспорядка, соответствующего установлению теплового равновесия в системе. Таким образом, с энергетической точки зрения системы могут описываться не только количественно, но и *качественно,* причем высококачественными будут считаться наиболее концентрированные формы энергии, которые могут обладать более высоким рабочим потенциалом, т.е. возможностью произвести соответствующую работу. Так, например, ископаемое топливо обладает большим рабочим потенциалом, чем рассеянная солнечная энергия. Аналогично этому, животная пища является более качественной, чем

растительная. Опосредованно качество используемой энергии определяется химической структурой ее источника.

Все приведенные выше рассуждения показывают, что при энергетическом подходе задача экологии по сути дела сводится к изучению связи между рассеянным солнечным излучением и экосистемами, а также процессами последовательного превращения менее концентрированных форм энергии в более концентрированные. Поскольку материальное производство общества существенным образом зависит от использования энергии, постольку представляется целесообразным провести классификацию экосистем с точки зрения применения их энергии в интересах развития общества и, прежде всего, производительных сил. На этой основе можно выделить четыре фундаментальных типа экосистем.

1. *Природные системы, полностью зависящие от энергии солнечного излучения,* которые можно назвать *системами, движимыми Солнцем.* Несмотря на то, что такие системы не в состоянии поддерживать достаточную плотность населения своих особей, они тем не менее важны для сохранения необходимых экологических условий на планете. Следует также отметить, что такие природные системы занимают огромную площадь на земной поверхности. Ведь только одни океаны покрывают 70% этой поверхности.

2. *Природные системы, движимые Солнцем, а также получающие энергию из других природных источников,* к которым относятся прибрежные участки морей и океанов, большие озера, тропические леса и некоторые другие экосистемы. Кроме солнечной энергии, такие системы функционируют и растут за счет энергии, например, морских прибоев, приливов, глубоководных течений, рек, дождей, ветра и тому подобных источников.

3. *Природные системы, движимые Солнцем и получающие энергию от ископаемого топлива (нефть, уголь, древесина и др.).* Исторически такие смешанные естественные и искусственные экосистемы впервые возникли в сельском хозяйстве для возделывания культурных растений и улучшения пород домашних животных. Сначала там применялась мышечная сила человека и животных, а впоследствии и энергия машин, работающих на ископаемом топливе.

4. Современные индустриально-городские системы, использующие главным образом энергию ископаемых горючих, преимущественно нефти, угля, газа, а также радиоактивных веществ для получения атомной энергии. В этих системах производится основное богатство страны в виде разнообразных промышленных товаров, а также переработка пищевых продуктов для питания больших масс сконцентрированного в городах и индустриальных центрах населения. Сырье для такой переработки они получают из сельскохозяйственных экосистем. Энергетическая зависимость индустриальных центров от Солнца минимальна, так как энергоносители они получают от добывающей промышленности, а продукты питания – от сельского хозяйства. Интенсивный рост промышленности в развитых странах сопровождается все возрастающим потреблением энергии и одновременно все увеличивающимися отходами производства. Загрязнение атмосферного воздуха, отравление водных источников, накопление радиоактивных отходов – неизбежные спутники жизни в крупных индустриальных центрах.

Хищническая эксплуатация быстро сокращающихся запасов ископаемого топлива, погоня за прибылью любой ценой и особенно *за счет* нарушения экологического баланса в окружающей среде — все это с особой остротой выдвигает перед человечеством и прежде всего перед промышленно развитыми странами глобальную экологическую проблему сохранения динамического равновесия биосферы и нормального жизнеобеспечения людей. Поскольку сейчас наша цивилизация находится в процессе перехода от биосферы к ноосфере, когда разум становится определяющей силой общества, то вполне естественно задуматься над глобальной стратегией и перспективами *дальнейшего развития* мира. Хотя строить прогнозы всегда рискованно, тем не менее, они необходимы для того**,** чтобы наметить основные направления, по которым с определенной степенью вероятности можно эффективно подготовиться к встрече будущего.

Недостатка в таких прогнозах и сценариях будущего развития не ощущается. Одни из них имеют оптимистический характер и делают ставку главным образом на то, что новая технология будет принципиально отличаться от современной, станет безотходной, менее энергоемкой и более совершенной

по другим параметрам. Другие считают, что при установившейся тенденции развития никакая технология не спасет общество, если люди будут непрерывно увеличивать потребление, предприниматели добиваться получения максимальной прибыли, а промышленно развитые страны неизменно стремиться к экономическому росту. Выход из надвигающегося экологического кризиса многие видят в радикальном изменении сознания людей, их нравственности, в отказе от взгляда на природу как объект бездумной эксплуатации ее человеком. Однако одного изменения и совершенствования взглядов и нравственности людей явно недостаточно для выхода из экологического кризиса и решения экологических проблем в будущем. Для этого необходимо прежде всего, чтобы общество в своей экономической деятельности учитывало не только непосредственные материальные и трудовые ресурсы, затрачиваемые на производство товаров и услуг, но и тот вред, который наносится окружающей среде в результате такого производства. Все признают, что рыночная экономика пока еще не научилась это делать. Очевидно, что экономия энергоносителей и других быстро уменьшающихся запасов сырья, создание малоотходной и безотходной технологии, поиски и использование альтернативных источников энергии — все это во многом сможет помочь решению экологической проблемы, по крайней мере, ослабить ее остроту.

В этой связи заслуживает особого внимания инициатива ученых и общественных деятелей, объединившихся в рамках *Римского клуба*, участники которого собрались в 1968 г. для обсуждения актуальных глобальных проблем человечества. Первый же доклад «*Пределы роста»,* представленный американскими учеными Депнисом и Донеллой Медоуз в 1972 г., вызвал сильнейший шок среди многих политических деятелей и представителей общественности. *Основываясь на фактических* данных и тенденциях экономического, технического и социального развития, авторы построили компьютерную модель современного общества, в которой были учтены связи между различными подсистемами общества и воздействие на них разных факторов роста. Они показали, что если потребление ресурсов и промышленный рост вместе с увеличением численности населения будут продолжаться прежними темпами, то будет достигнут «предел роста», за которым неизбежно

последует катастрофа. Хотя многие специалисты критиковали доклад за то, что в нем не учитываются усилия общества по совершенствованию технологии, поискам новых источников энергии и сырья и т.д., но все вынуждены были признать, что в нем содержится обоснованная тревога за будущее человечества.

Во втором докладе – «Человечество на перепутье», представленном М. Месаровичем и Э. Пестелем, преодолены некоторые недостатки первого и намечены перспективы развития не столько мирового сообщества, сколько отдельных его регионов. Такой подход учитывает конкретные особенности и условия роста отдельных регионов мира и поэтому лучше подходит для решения экологических, энергетических, сырьевых и других глобальных проблем. В последующих докладах обсуждались более конкретные проблемы, касающиеся отношений со слаборазвитыми странами, переработки отходов, использования энергии и др.

Деятельность Римского клуба привлекла внимание широкой публики к актуальным проблемам современности, в частности, к такой жизненно важной для человечества проблеме, как сохранение окружающей среды. Поэтому следует рассмотреть, что приводит человеческое общество в противостояние с окружающей природой и каковы пути разрешения этих противоречий. Вследствие того, что большинство населения считает химию основной причиной все ухудшающегося состояния окружающей среды, рассмотрим источники загрязнения природы и некоторые способы устранения или уменьшения вредного воздействия человеческой деятельности на окружающий мир.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Дайте определение понятия «экология».
2. Почему экологические проблемы вышли на первый план в наше время?
3. Каковы основные задачи экологии?
4. Что подразумевается под глобальной экологией?
5. Что понимают под социальной экологией?
6. Что относится к биосфере?

7. Каково воздействие живых организмов на неорганическую природу?
8. Каково воздействие неорганической природы на живые организмы?
9. Каковы способы питания живых организмов?
10. Почему биосферу нельзя рассматривать в отрыве от неживой природы?
11. Приведите суть учения Вернадского о биосфере.
12. Какова геохимическая роль живых организмов?
13. Каково решающее отличие живого вещества от косного?
14. Есть ли начало жизни?
15. Может ли жизнь произойти от неорганического вещества?
16. Каковы формы работы живого вещества в биосфере?
17. Какова суть биогенной миграции I рода?
18. Какова суть биогенной миграции II рода?
19. Приведите имена советских и российских ученых, занимавшихся проблемами биосферы.
20. Каково взаимодействие человека и биосферы?
21. Что означает термин «ноосфера»?
22. Каковы условия существования ноосферы?
23. Что сделано человечеством для выполнения условий существования ноосферы?
24. Какова геологическая роль человека?
25. Почему для исследования экологических проблем человечества необходим междисциплинарный подход?
26. Что понимают под «качеством природной среды»?
27. Что относят к экологическим системам?
28. Сколько фундаментальных типов экосистем обычно выделяют?
29. Каковы уровни экосистем?
30. Как взаимодействуют экосистемы с окружающей средой?
31. Каковы энергетические проблемы экосистем?
32. Что понимают под концентрированной энергией?

Глава 7

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ПУТИ ЕГО ПРЕОДОЛЕНИЯ

С середины нынешнего столетия охрана окружающей среды стала одной из самых острых и глобальных проблем современности. В результате деятельности человека на Земле значительно сократились площади лесов, исчезли или находятся на грани исчезновения многие виды животных, усилился процесс антропогенного загрязнения гидросферы и атмосферы, сократились и продолжают сокращаться многие виды природных ресурсов. Поэтому охрана окружающей среды, рациональное использование природных ресурсов – это одни из главных задач, стоящих перед человечеством. Рассмотрим изменения, которые произошли или могут произойти как в результате воздействия природных факторов, так и антропогенных факторов на географическую оболочку Земли. Географическая оболочка Земли – это газовая, каменная, водная часть среды, окружающей нас, в которой происходят разнообразные процессы и явления, живут живые организмы. Географическая оболочка образовалась, развивалась и живет в окружающем нас космическом пространстве в процессе сложного космическо - земного взаимодействия.

Природные, производственные и социальные системы, сформировавшиеся на земной поверхности, находятся, как мы уже говорили, в постоянном взаимодействии и развитии. При этом природа служит материальной, духовной и экологической основой экономического и социального развития общества. В последнее время возникло представление об экономике нематериальных благ, которая рассматривает благосостояние человека как сумму трех компонентов: уровня жизни, условий жизни и качества жизненной среды. Происходит инверсия экономических ценностей: завтра телевизор, холодильник, автомобиль будут в каждой семье, но люди остро почувствуют нехватку чистого воздуха, тишины, земли. Эти блага, которым раньше не придавалось значения, станут играть все большую роль.

Для регулирования природных процессов в интересах человечества необходимы глубокие знания о природных, производственных и социальных системах. Задача регулирования входит в сферу интересов конструктивной географии. Глобальные ас-

пекты конструктивной географии рассматривает общее землеведение. Тапким образом, общее землеведение изучает географическую оболочку Земли.

Современное состояние географической оболочки

Человечество — часть природы, и для существования ему необходимо обмениваться с природой разнообразными видами энергии и вещества. Этот обмен осуществляется как в биологической форме, так и в форме производственной деятельности на сложном фоне психологических и социальных отношений. Периодизация развития техники, экономики, информационного обмена, культуры, искусства и изменения форм воздействия человеческого общества на биосферу показана на рис. 7.1.

В настоящее время сформировалась целая система понятий, обозначающих те стороны географической оболочки, которые взаимодействуют с человечеством или используются им для удовлетворения своих потребностей. Из рис. 7.1, на котором образно представлено соотношение основных понятий, видно их относительное соподчинение: чем больше площадь круга, тем выше объем понятия.

Для того чтобы отличить объект конструктивного землеведения от природного, не измененного человеческой деятельностью комплекса, который мы рассматривали выше, назовем его новым термином. Наиболее удобным, на наш взгляд, является понятие «антропосфера», так как оно позволяет подчеркнуть антропоцентричность подхода, принятого в конструктивном землеведении. В литературе этот термин употребляется в разных значениях (их можно узнать из географических словарей). Мы будем придерживаться наиболее широкого толкования: антропосфера — этап эволюции географической оболочки, для функционирования, динамики, развития которой характерна высокая роль деятельности человечества.

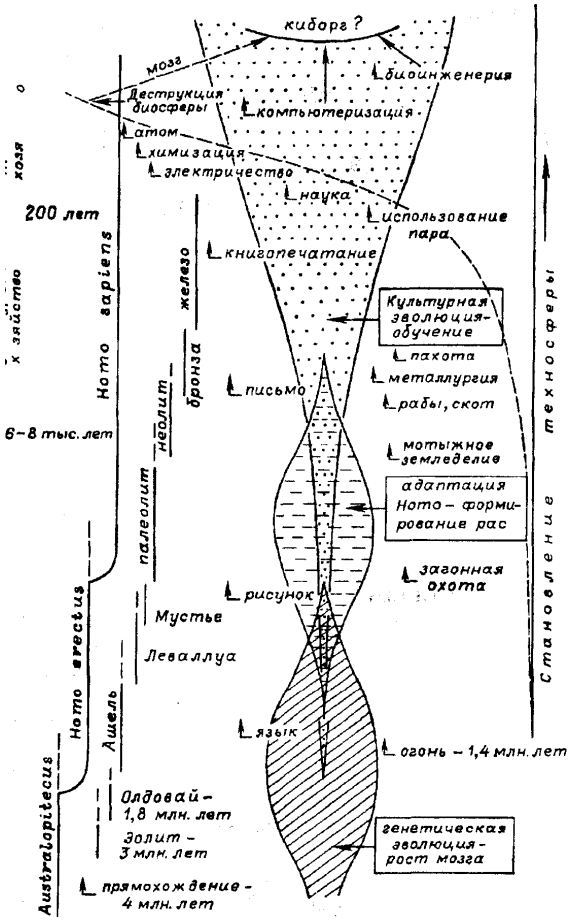


Рис. 7.1. Схема эволюции человеческого общества, его производительных сил, информационных возможностей и возрастающего воздействия на биосферу

Антропосфера в такой трактовке является общенаучным понятием. Термин «ноосфера», используемый в ряде работ для обозначения того же этапа эволюции географической оболочки — биосферы, является более узким, т.к. он акцентирует внимание на разумной стороне деятельности (греч. noos. — «разум», sphairie — «шар»). В то время как известно, что значительная часть воздействий на географическую оболочку являются побочными, т. е. возникают стихийно и вне разумных задач, которые ставились человечеством. Человечество только стремится к тому, чтобы придать природопользованию разумный характер, и общее землеведение должно сыграть в этом немаловажную роль.

Современная антропосфера — глобальная природно-техническая система. В ней возникают процессы, не характерные для естественного состояния географической оболочки. Это связано с тем, что возможности техники и масштабы хозяйственной деятельности человечества превысили некоторый критический уровень, исчерпали буферные воможности природной среды и стали причиной новых процессов планетарного масштаба. Формируется новое состояние природной среды, которое не имело аналогов в прошлом, — состояние антропосферы. Еще более ста лет назад, когда и ученые, и инженеры говорили о покорении природы, Ф. Энгельс отмечал, что человек не должен властвовать над природой так, как завоеватели властвуют над чужим народом. Господство человека над природой, говорил он, состоит в том, что, в отличие от других существ, человек умеет познавать ее законы и правильно их применять.

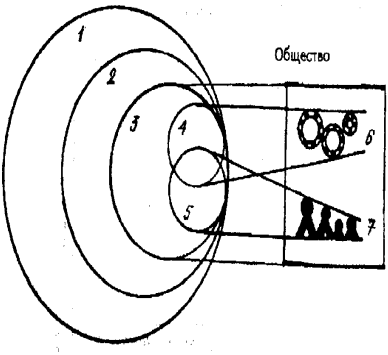


Рис. 7.2. Соотношение объема понятий, характеризующих систему «природа -общество» 1- географическая оболочка; *2* –биосфера; 3 - географическая среда общества; 4 – техносфера; 5 - экологическая среда; *6* -- техника; 7 -человек.

Чтобы избежать неразумных действий во взаимоотношениях с природой, мы прежде всего должны отчетливо понять: а какими должны быть наши разумные действия? Как избежать стихийности в воздействиях на природу? Куда и как направлять наши усилия? Для решения этой научной задачи — куда направлять наши воздействия, чтобы уберечь природную среду от деградации, — недостаточно экспериментальных изысканий, хотя анализ опыта воздействий на природные процессы, накопленного за человеческую историю, очень поучителен. К тому же крайне трудно и рискованно экспериментировать с географической оболочкой в целом — неудачный эксперимент может погубить человечество. Эти ограничения и затруднения можно преодолеть только на пути более глубокой разработки теоретических основ управления процессом ноогенеза. Создание такой теории — задача конструктивного землеведения.

Географическая оболочка в любом ее состоянии — биокосная система, спаянная воедино биологическим круговоротом вещества и энергии. Особая роль живых организмов, исключительное значение жизни заставляют рассматривать ее, анализируя современное и будущие состояния, прежде всего биоцентрически и антропоцентрически — с позиций сохранения организмов и условий существования человека. В то же время, должна быть очевидной ограниченность таких подходов: чтобы сохранить жизнь, необходимо прежде всего удержать в определенных границах изменения среды обитания, т. е. самой географической оболочки.

Экологическое состояние географической оболочки должно стать предметом заботы всего человечества, ибо хотя непосредственная зависимость человека от локального природного окружения уменьшается, но человек становится все более зависимым от состояния глобальной системы географической оболочки в целом. К сожалению, современные технические возможности мирового сообщества выходят за рамки их мыслительного охвата и понимания. Возникла несбалансированность нагрузок с ассимиляционной способностью природных систем, с их экологическим потенциалом, но это еще недостаточно осознается всеми членами сообщества.

Для настоящего времени характерны целые регионы с кризисными и катастрофическими экологическими ситуациями, про-

явившимися особенно сильно в тех странах, которые не имеют возможности вкладывать большие средства в природоохранную деятельность. Кроме того, экономическая бедность заставляет эти государства размещать на своих территориях предприятия с недостаточно экологичными технологиями, тогда как страны с развитой экономикой стремятся вынести такие предприятия за свои границы.

Среди глобальных экологических проблем самыми существенными являются:

- голод как крайнее выражение сложного переплетения социальных, экономических, экологических и демографических проблем;

- дефицит питьевой воды. Возникновение его в значительной мере обусловлено социальными причинами, но в последние десятилетия дефицит усилился из-за длительной засухи во многих районах мира;

- дефицит плодородной земли, который, с одной стороны, связан с ростом населения, с другой — с разрушением почвенной структуры, уменьшением почвенного плодородия, накоплением в почве пестицидов и других видов загрязнений.

- аридизация, обезлесивание и опустынивание. Эти проблемы опять-таки возникли в результате сложного переплетения социальных, экономических и природно-климатических факторов.

- усиление парникового эффекта вследствие увеличения поступления в атмосферу диоксида углерода (главным образом при дегазации недр и сжигании органического топлива), метана (при разложении вещества болот и городских свалок) и других газов, которое вызывает целую цепь планетарных процессов.

- опасность ядерного конфликта, связанная не только с действием радионуклидов и лучевым поражением человека и всего органического мира, но и с резким изменением погодно-климатических условий, нашедших выражение в термине «ядерная зима».

Не менее опасны региональные международные конфликты, в основе которых лежит борьба за природные ресурсы и территории. Они известны с древнейших времен, но в современную эпоху приобрели особую остроту, обусловленную угрозой энергетического, сырьевого, продовольственного и экологического кризисов. Региональные конфликты можно разделить на три группы: территориальные, ресурсные, экологические:

- территориальные конфликты связаны с преимуществом географического положения тех или иных территорий в военно-стратегическом или экономическом отношении (конфликт Англии и Аргентины из-за Фолклендских островов), с этническими проблемами (Сомали и Эфиопия) и др;
- природно-ресурсные конфликты возникают из-за притязаний разных государств на природные ресурсы, находящиеся на территории других стран, а также на «ничейной» территории в Мировом океане. Примером таких конфликтов является «тресковая война» между Англией и Исландией, в основе которой находятся споры о размерах прибрежных экономических зон;
- экологические конфликты связаны с трансграничным переносом загрязнений. Например, лишь 10% загрязнений, выпадающих из атмосферы на территории Норвегии, поступают с ее собственных предприятий, остальные 90% приносятся из других стран; радиоактивные продукты, образовавшиеся при разрушении блока ядерного реактора в Чернобыле, распространились на многие страны мира. Проблемы международного характера возникают также при крушениях танкеров с нефтью или авариях на нефтегазопроводах.

Основные типы воздействий на природную среду

Воздействия человека на природную среду подразделяются на преднамеренные и непреднамеренные, прямые и косвенные. *Преднамеренное воздействие* происходит в процессе материального производства с целью удовлетворения определенных потребностей общества. Оно связано с расходованием того или иного природного ресурса: топлива для производства энергии, железной руды для выплавки железа, стали, производства проката и т. д. К преднамеренным воздействиям относится строительство гидроэлектростанций для нужд энергетики и орошения, вырубка леса для деревообрабатывающей промышленности или с целью расширения земледельческих площадей и т. д. Такие воздействия являются объектом экономики: они планируются, финансируются, контролируются, нормируются и т. д.
Непреднамеренное воздействие проявляется как побочный эффект преднамеренного. Так, при производстве энергии выделяются сажа, газы — диоксид углерода, сернистый ангидрид, водяной пар. Строительство ГЭС сопряжено с образованием

искусственного водоема, который влияет на окружающую среду через гидрометеорологические факторы: повышается уровень грунтовых вод, что обусловливает подтопление, меняется гидрологический режим реки и т. д. (Рис. 7.3). В настоящее время, в связи с обострением экологических проблем и законодательными ограничениями, наблюдается стремление минимизировать непреднамеренные воздействия или хотя бы учитывать возможность их возникновения заранее. Однако такие попытки часто оказываются малоуспешными из-за недостаточного знания механизмов автоматического регулирования и управления, существующих в природе. Изучение побочных, т. е. непреднамеренных, воздействий — одна из важных задач географии, в частности географического прогнозирования.

Как преднамеренные, так и непреднамеренные воздействия могут быть прямыми и косвенными. *Прямые воздействия* имеют место в случае непосредственного воздействия хозяйственной деятельности, хозяйственного механизма на среду. Например, полив сельскохозяйственных растений непосредственно воздействует на почву, увлажняя ее. Но наряду с увлажнением почвы увлажняется и охлаждается воздух, следовательно, меняются условия жизни и процессы жизнедеятельности растений. Эти изменения происходят опосредованно, через цепочки взаимосвязанных воздействий, и называются *косвенными.*

Преднамеренные и непреднамеренные, прямые и косвенные воздействия взаимно сочетаются, образуя следующие типы комбинированных воздействий:

- преднамеренные прямые воздействия. Это большая часть воздействий хозяйственной деятельности, планируемых, проектируемых и осуществляемых отраслями народного хозяйства;
- непреднамеренные прямые воздействия. Возникают побочно с первым типом воздействий. Например, чтобы добывать руду открытым способом, необходимо обеспечить понижение уровня подземных вод вокруг карьера, иначе вода зальет его. Откачка вод и сброс их в водоемы меняют режим водоемов. Если воды токсичны, то это приводит к угнетению и гибели гидробионтов. Воздействие прямое, но непреднамеренное;
- преднамеренные косвенные воздействия. Это средство достижения определенных народнохозяйственных результатов путем опосредованного воздействия. Так, выбор предше-

ственников сельскохозяйственных культур в севообороте — косвенное воздействие на урожайность этих культур, равноценное (в определенной мере) непосредственному воздействию на растения с помощью, например, удобрений, В масштабах географической оболочки преднамеренные косвенные воздействия — наиболее реальная возможность оптимизации среды.

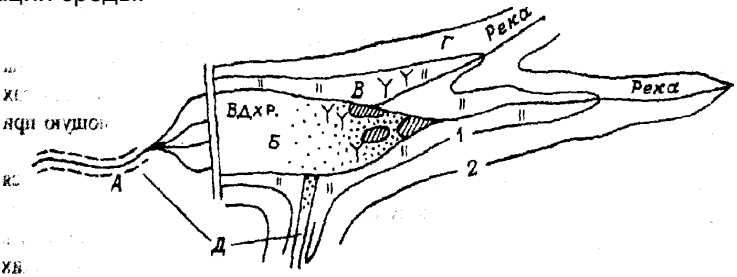


Рис. 7.3. Различные типы воздействий на природную систему в результате сооружения гидроузла, *1* — цветение воды; *2* — повышение уровня грунтовых вод (глубина, м); *3* — заболачивание; *4* — зарастание; *1* — ускоренная эрозия в русле реки; *6* — заиление водоема. Изменения; А, Г — режима стока, нарушение миграции рыб; Б — микроклимата; В — почвенно-растительных ассоциаций; Д — микрорельефа.

- непреднамеренные косвенные воздействия. Возникают в связи с нарушением природных равновесий в процессе любых других воздействий. Общеизвестный пример — влияние запыленности атмосферы (аэрозолей) на количественный и качественный состав солнечной радиации.

Необходимо отметить, что описанные воздействия не встречаются «в чистом виде»: одно сопровождается другим. Но понимание их различий необходимо. В частности, в процессе прогнозирования эти воздействия учитываются по-разному.

Воздействия человека на природу (как прямые, так и косвенные) во многих случаях приводят к значительной перестройке природных процессов, ухудшению экологических условий, снижению качества природных ресурсов. В связи с этим важно иметь четкое представление о пространственно-временных масштабах распространения разных типов воздействий.

Преднамеренные воздействия охватывают самые различные пространства — от точки (заводская труба, выброс сточных вод)

до больших площадей (распашка полей, орошение, осушение и т. п.). По временному масштабу можно говорить о воздействиях однократных (разовых), периодических, постоянных динамических (ежегодная распашка), постоянных стационарных (город).

Охватывая вполне определенные территории, воздействия вызывают систему цепных реакций, вереницу последствий, разворачивающихся со временем на значительно больших территориях по сравнению с площадью первоначального воздействия. Некоторые цепные процессы усиливаются до внушительных размеров. Так, мексиканский ученый Х. Виво-Эското описывает несколько ситуаций, возникших в 70-е годы вследствие воздействий в США на метеорологические процессы. В одной из них ураган «Камилла» в результате внесения йодистого серебра усилился и повернул на сушу (в штаты Миссисипи и Луизиана), где причинил значительный материальный ущерб и вызвал гибель 234 человек.

Ученые России, США, Германии на основе теоретических расчетов, изучив механизмы саморегулирования в пределах земной поверхности, установили следующую систему связей, возникающую при ядерном конфликте. Ядерные взрывы вызывают большие пожары. Над пожарищем создается мощный вихрь, подобный тропическому циклону, который, во-первых, способствует самоусилению пожара, во-вторых, забрасывает часть продуктов сгорания в атмосферу. Возникает система положительных обратных связей, усиливающих процесс горения, вертикальной циркуляции воздуха и обусловливающих горизонтальный вихревой подток воздуха ураганной силы к пожарищу. Эффект лавинообразного усиления процесса приводит к возгоранию малогорючих веществ. Подсчеты показывают, что в результате в атмосфере образуется слой сажи, практически непроницаемый для солнечных лучей. Если вихрь окажется мощным, то часть сажи поступит в стратосферу, где будет находиться продолжительное вреш. Примерно через месяц атмосферный аэрозоль распространится над целым континентом, через 3-6 месяцев — над всем земным шаром. Это уменьшит поступление солнечной радиации в 100 раз, что приведет к быстрому понижению температуры на суше на несколько десятков градусов (с большими территориальными различиями), которое сохранится в течение нескольких месяцев.

Распространение первоначально ограниченного по площади техногенного воздействия на большие территории характерно и

во многих других случаях. В частности, мелиоративные воздействия на природную среду преобразуют и функционально сопряженные с объектом мелиорации геосистемы.

Антропогенные воздействия распространяются в пространстве в двух основных формах — диффузии (когда происходит резкое уменьшение концентрации воздействия на единицу площади) и концентрации последствий воздействий. Вторая форма наблюдается, например, при внесении удобрений на поля и использовании пестицидов, гербицидов, которые при смыве с полей концентрируются в русловой сети, а затем в замыкающих элементах каскадных водных систем — озерах, болотах. Выпадение из потока и концентрация химических элементов, взвешенных частиц, аэрозолей и т. д. наблюдаются также на барьерах: механических (орографических поднятиях, лесных полосах, руслах рек, тектонических разломах), геохимических (кислородных, восстановительных, сероводородных, щелочных, кислых, испарительных и др.), биологических (корневых системах растений, листовых поверхностях растительного покрова и др.).

Изменение реакции среды на воздействие во времени также имеет несколько типов. Реакция природной среды на воздействие обычно запаздывает, ибо ее системы обладают свойством инерционности. При разовом воздействии на систему (вырубка леса, выброс загрязняющего вещества в водоем, лесной пожар, наводнение и т. п.) изменение геосистемы происходит по типу одной из кривых, изображенных на рис. 7.4. Характерно, что в этом случае система возвращается в первоначальное состояние через определенное время. Правда, если воздействие было слишком сильным и превысило буферные возможности геосистемы, то возвращения геосистемы к прежнему состоянию не произойдет. Например, через несколько десятилетий после извержения вулкана на участке, покрытом вулканическим материалом (лавой), в условиях влажного тропического климата снова сформируется тропический лес, но он не будет точной копией предыдущего. В менее благоприятных по водно-тепловому режиму условиях (тайга, тундра и т. д.) восстановление ландшафта потребует многие сотни и даже тысячи лет. Если воздействие на природу носит постоянный характер, например плотина на реке, то система через определенное время переходит в новое состояние динамического равновесия.

Глобальные изменения на Земле

Науки о Земле выявили грандиозную картину функционирования ее географической оболочки на протяжении нескольких миллиардов лет. В течение геологической истории нашей планеты имели место, с одной стороны, периодические колебания ее природного состояния, а с другой — направленные изменения, Периодические колебания нашли выражение, например, в чередовании активных горообразовательных эпох и эпох относительного тектонического покоя, планетарных трансгрессий и регрессий Мирового океана, ледниковых и межледниковых эпох и т. д. Направленные изменения привели к повышению мощности осадочной оболочки и контрастности планетарного рельефа, увеличению средней высоты материков и средней глубины океана, возрастанию видового разнообразия органического мира, усложнению ландшафтной структуры и др.

Появление человека и его превращение в «геологическую силу» нарушив сложившиеся в природе равновесия. Как известно, в настоящее время численность населения Земли превысила 6 млрд., а воздействие человека на природу достигло планетарных масштабов. Главными формами воздействия являются выбросы в воздух, воду, почву разнообразных веществ (побочных продуктов технологической деятельности), вырубка лесов, распашка земель, вовлечение в технологические процессы больших масс пресной воды, орошение земель. Воздействия такого рода, часто осуществляемые на локальных территориях, вызывают цепные реакции, захватывающие огромные пространства на всей поверхности Земли.

В этих условиях прогноз развития географической оболочки не может опираться только на экстраполяцию природных изменений и принцип актуализма, поскольку в прошлом человечество в таком качестве не выступало. В частности, вмешательство человека во многих случаях приводит в движение неравновесные процессы, которые самопроизвольно усиливают начальный импульс (например, эффект потепления), — этому в прошлом нет

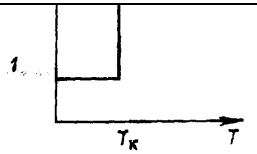
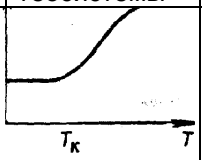
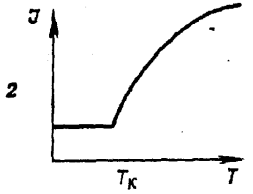
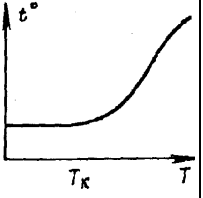
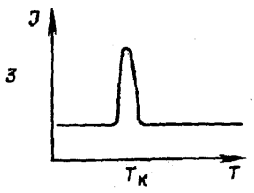
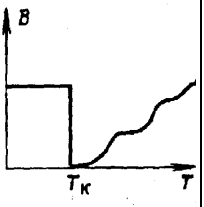
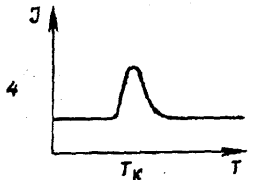
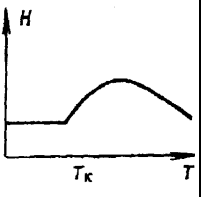
Воздействие	Реакция геосистемы	Процесс
		**а** – апериодический релаксационный процесс второго порядка
		**б** - апериодический релаксационный процесс второго порядка
		**в** – гармонический колебательно-возрас-тающий процесс
		**г** – апериодический затухающий релаксационный процесс

Рис. 7.4. Реакция геосистем на различные внешние воздействия. Тип воздействия*:* 1 — создание водохранилища; 2 - строительство города; 3 — лесной пожар; *4* — паводок. Обозначения:J — воздействие; Т — время; Н -уровень; В — биомасса; *w* — влажность почвы; T_o –температура воздуха; $T_к$ — критическая точка воздействия.

полных аналогов. Человек явился причиной изоляции океана от атмосферы нефтяной пленкой, загрязнения живых организмов пестицидами, имеющими мутагенное действие, и других процессов, влияние которых почти не выяснено и не может быть корректно оценено. Изучение их и прогноз глобальных изменений в этом случае возможны лишь на основе имитационного математического моделирования и анализа тех последствий, которые обнаружили себя за последние десятилетия — с тех пор, как существуют систематические инструментальные наблюдения за природными процессами.

В то же время, нарушение баланса диоксида углерода и связанные с ним изменения парникового эффекта, сведение лесов, опустынивание имели место и в прошлом, хотя и вызывались другими причинами. Эта группа возможных изменений может изучаться, таким образом, не только с помощью математического моделирования, но и на основе аналогов прошлой истории Земли (т. е. палеогеографическими, палеоклиматическими методами). Метод аналогов дает возможность проверки математических моделей, что повышает их достоверность.

Происходящие изменения, определяемые естественными (внутренними и внешними) и искусственными (или антропогенными) факторами, не сразу становятся заметными в географической оболочке в целом, но они отражаются в ее составляющих или отдельных частях. Наиболее чутко и относительно быстро реагирует на изменения воздушная среда, медленнее — водная, а наиболее инертна каменная оболочка. Однако все среды хотя и в разной степени, но постоянно изменяются. В атмосфере (которая является своеобразным экраном, предохраняющим планету от космических воздействий и сохраняющим в приземном пространстве энергию внутренних сил развития географической оболочки) благодаря значительной подвижности воздушных масс, частные изменения довольно быстро становятся общим достоянием, в результате чего атмосфера меняет свои параметры. Именно такие процессы лежат в основе практически всех глобальных изменений окружающей среды, поскольку состоянием атмосферы определяется в общем функционирование гидросферы и литосферы.

Глобальные изменения географической оболочки, т. е. такие, которые существенно трансформируют ее параметры и функциональные свойства, вызывая кардинальную перестройку

структуры и смену тенденций развития, довольно хорошо известны из ее эволюции. Они практически всегда определялись изменением поступающей к земной поверхности энергии Солнца и Космоса, величина которой зависит от вариаций «пропускной» и «задерживающей» способности воздушного окружения планеты. Установлено, например, что происходившие в последний миллион лет геологической истории неоднократные смены похолоданий и потеплений, выразившиеся в высоких и умеренных широтах чередованием оледенений и межледниковий, были обусловлены изменением состояния атмосферы. Температурный режим приземных слоев географической оболочки регулировался газовым составом атмосферы, наличием аэрозолей и разных примесей. Так, данные обработки керна гренландских и антарктических ледников показывают, что в последнее межледниковье (110-140 тыс. лет назад) содержание диоксида углерода и метана было на современном уровне (или даже больше), тогда как в оледенения оно сокращалось почти вдвое (180-190 против 354 ppmv CO_2 и 0,35 против 0,7 ppmv CH_4). Одновременно в оледенения резко уменьшалось содержание тяжелого изотопа водорода — дейтерия (почти на 1/4) и тяжелого изотопа кислорода (почти вдвое). Интересны наблюдения за концентрациями аэрозолей — они оказались в ледниковья в несколько раз больше современных (до 30 раз на станции Восток, до 27 раз на станции Купол-С, в 8 раз на станции Бэрд), что свидетельствует о значительной запыленности атмосферы в эпохи оледенений, а состав аэрозольного материала позволяет говорить об усилении атмосферной циркуляции. Эти и другие изменения состава атмосферы вызвали колебания приземной температуры примерно на 8-10° С, причем почти половина температурных изменений была обусловлена колебаниями концентраций парниковых газов.

Изменения, установленные по исследованиям кернов ледников, были подтверждены изучением донных колонок океанического бурения, что позволяет считать отмеченные зависимости характерными для географической оболочки в целом и учитывать их при анализе современных изменений. При этом заметим, что настоящее (голоценовое) время является позднепослеледниковьем: природа развивается в сторону межледниковья, что предполагает естественное постепенное возрастание приземных температур воздуха и вод, носящее направленный, но ритмично-колебательный характер. Последнее имеет весьма существенное значение при выяснении причинно-следственных

связей в изменениях географической оболочки, установлении тенденций развития и прогнозировании возможных трансформаций окружающей человека *среды* в ближайшем и отдаленном будущем.

Определяя современные тенденции и причины того или иного направления развития географической оболочки и ее отдельных компонентов, необходимо не только аргументирование констатировать новые параметры окружающей среды и их конкретное отражение в ландшафтных системах, но и правильно оценивать роль естественных и антропогенных составляющих, а также корректно прогнозировать возможные трансформации нашей планеты. Многообразный спектр прогнозов о будущем Земли связан как раз с различиям в оценках естественных и антропогенных факторов и их временной роли. Отсюда и широкий диапазон представлений о современном состоянии географической оболочки и ее будущем — от непременного сохранения природы в ее нынешнем состоянии до ее кардинальных изменений, а также о существовании экологического кризиса и даже глобальной катастрофы.

Условно точки зрения на глобальные изменения географической оболочки и их последствия можно объединить в четыре группы, причем важно иметь в виду авторство взглядов, принадлежность их носителей к тем или иным слоям общества. Ясно, например, что наиболее плохими последствия изменений считают представители научной администрации, чаще всего лоббирующие определенные отрасли экономики, и разнообразные «зеленые». Можно говорить о существовании традиционных и новых взглядов, основанных на переосмыслении прежних данных с учетом новейших научных достижений.

Среди представителей традиционных взглядов четко выделяются малочисленные оптимисты, считающие, что природные силы достаточно велики, поэтому естественные тенденции развития превышают антропогенные и природа имеет возможность восстановить разрушенное человеком, особенно после прекращения или изменения воздействий (так называемые «геисты» и «изобилисты»), и пессимисты двух разновидностей. Одни утверждают, что любые антропогенные влияния плохи для природы и в настоящее время фактически необратимы, так как стали превышать природную составляющую функционирования географической оболочки. Другие усиливают пессимизм, говоря о неизбежности экологической катастрофы, и призывают либо

противодействовать любым антропогенным преобразованиям (большая часть так называемых зеленых и экологистов), либо существенно уменьшить разрушающее окружающую среду влияние антропогенной деятельности, всячески преувеличивающее ее роль в фактически наступившем экологическом апокалипсисе планеты (так называемые алармисты, «армагедонисты», экологические мазохисты).

Представители новых оптимистических взглядов на основе переоценки общепринятой роли каждого фактора в глобальных изменениях окружающей среды делают вывод о том, что в настоящее время естественные силы развития явно превосходят антропогенные, значение которых существенно, но не катастрофично для географической оболочки. Последняя в прошлом неоднократно переживала состояния, близкие к современным, всегда сохраняя свое изменчивое разнообразие и жизнестойкость. Сторонники новых идей, число которых растет, доказывают отсутствие глобального экологического кризиса и несостоятельность рассуждений об антропогенных воздействиях как причине этого кризиса.

Таким образом, глобальные изменения в географической оболочке в настоящее время рассматриваются с точки зрения совместного влияния естественных тенденций эволюции планеты и антропогенных воздействий. Как уже отмечалось, все компоненты (или частные сферы) географической оболочки постоянно изменяются, практически всегда находясь в неустойчивом равновесии. В этих изменениях можно выделить два основных типа: первый — под воздействием внутренних преобразований, обычно в пределах частной сферы и в существующих в ней условиях, без принципиальной перестройки реальной системы; второй — под воздействием внутренних и, главное, внешних факторов, когда трансформируются особенности функционирования отдельных сфер и их взаимоотношений в пределах географической оболочки, которая в течение определенного времени довольно существенно изменяется, что приводит к перестройке системы и появлению новых качеств. Первые изменения обычны для естественно развивающихся систем, вторые свойственны эволюционирующей глобальной системе, в которой в последние столетия стали возникать антропогенные новообразования.

Тревожные антропогенные изменения природной среды

Человек как биосоциальный феномен имеет богатую историю отношений с окружающей природной средой. Человечество пережило эпоху четвертичных оледенений, изменения уровня океана от -100 до +50 м, экстремальные колебания сезонных температур от -80° до +45° С. В начале голоцена (8 тыс. лет назад) человек пережил парниковый эффект, когда концентрация CO_2 в атмосфере, судя по анализам пузырьков воздуха в кернах антарктического льда, поднялась до 500 частей на миллион частей воздуха, т. е. в 1,5 раза против современного значения (354 ppmv), что произошло вследствие вулканической активности (и, возможно, лесных пожаров).

Первоначально человек выступал составной частью биоценоза и по взаимоотношениям с природой не отличался от животных. С переходом от присваивающего типа хозяйства (собирательство, охота, рыболовство) к производящему (земледелие, разведение скота) воздействие человека на природу стало сказываться сначала на локальных территориях, а затем и в целых регионах. К настоящему времени произошли большие изменения в масштабах освоения и способах использования территории Земли (табл. 7.1).

Из табл.7.1 следует, что полярные и высокогорные территории, аридные пустыни, тундра и переувлажненные леса пока еще слабо заселены, но на остальной территории 40-50% заняты землями промышленного и городского назначения, дорогами, сельскохозяйственными полями, пастбищами, лугами. Увеличиваются масштабы опустынивания. Пустыни и опустыненные пространства захватывают площади, ранее занятые степями и саваннами, а последние наступают на леса.

Особенно ярко этот процесс выражен в северной части Африки, в зоне Сахеля, где средняя скорость перемещения пустынь к югу составляет несколько десятков километров в год. Быстрыми темпами вырубаются экваториальные леса в Южной Америке, Африке, Азии. Леса Амазонии, называемые «легкими» Земли, интенсивно сводятся в связи с прокладкой трансокеанической автомагистрали и формированием сопутствующих инфраструктур.

Таблица 7.1

Использование территории Земли по географическим поясам

Пояса	Земли промышленного и городского назначения, дороги, %	Земледельческая площадь, включая села и фермы, %	Травянисто-кустарниковые пастбища и луга, %	Леса, включая насажденные, %	Слабоиспользуемые и непригодные земли, %
Экваториальный	1	8	12	54	25
Субэкваториальный	3	18	25	28	26
Тропические	2	9	31	12	46
Субтропические	3	17	27	14	39
Умеренные	6	26	13	38	17
Субарктика, Арктика и Антарктида	0	0	2	0	98

К середине нашего века — времени наступления научно-технической революции — воздействие человека на природную среду достигло планетарных масштабов. В результате на планете сложилась тревожная обстановка, связанная с состоянием природной среды. Наибольшую опасность представляют загрязнение геосфер, разрушение озонового слоя, исчерпание природных ресурсов, истощение почвенного плодородия.

Большое место в антропогенном изменении географической оболочки занимает нефтяное загрязнение океана. Известно, что примерно половина всей нефти, добываемой в мире, перевозится морскими судами, причем, в конце 80-х годов каждый 50-й рейс танкеров оказывался аварийным. Нефть попадает в воду также при сбросах с судов, при загрузке нефти и топлива. В сумме это дает 42% загрязнений, или 1,5 млн т в год. Много нефтяных продуктов поступает с суши (сток рек) — около 40%, или 1,4 млн т.

Попавшая на поверхность воды нефть через несколько часов образует пленку толщиной в тысячные доли миллиметра. Легкие фракции испаряются, но затем возвращаются в океан с дождевыми каплями. Наибольшее нефтяное загрязнение Мирового океана характерно для танкерных путей, связывающих Ближний Восток с Европой, Америкой и Японией. Значительное загрязнение наблюдается также в прибрежных зонах океанов. В целом на поверхности океана в разных формах (от тончайшей пленки до небольших комочков) находится 15-20 тыс. т нефти, а при концентрации нефти выше 10 мг/л погибают многие морские рыбы, взрослые моллюски и ракообразные. Икра рыб и личинки ракообразных и моллюсков гибнут при значениях 0,01-0,1 мг/л. В кризисных же зонах концентрация нефтяных агрегатов составляет 50-300 мг/л, в критических — 0,09-0,2 мг/л.

Однако нефтяные продукты влияют не только на живые организмы, но и на климат, изменяя тепло- и влагообмен между океаном и атмосферой. Нефтяная пленка уменьшает поглощение тепла слоем воды, следствием чего является более быстрое и значительное прогревание атмосферы со всеми его последствиями.

Особую тревогу вызывает исчерпание многих видов минерального сырья, чистой пресной воды. Доступное ископаемое сырье, видимо, будет использовано *к* 2100-му году, а органическое топливо — еще раньше. Отсюда возникают проблемы обеспечения минеральными и энергетическими ресурсами. Однако сооружение мощных ГЭС приводит к изъятию слишком больших площадей земель, а строительство новых атомных электростанций вызывает возражения общественности в связи с возможными катастрофическими последствиями. Хотя дело не только в этом. Создание новых источников энергии (например, на термоядерном топливе) спасет человечество от энергетического голода, но оно же способно привести к перегреву атмосферы и изменению общей структуры теплового режима и влагооборота.

Расчеты, в том числе моделирование на ЭВМ с учетом комплекса экологических, экономических, социальных проблем, показывают, что обеспечение экологического равновесия возможно лишь на пути перевода производства на малоотходную технологию при стабилизации численности населения и осуществлении режима экономии в потреблении ресурсов. Многие убедительные примеры, приводимые разными исследователями, позволили сделать заключение о том, что если современные тенденции

природопользования и воздействия производства на среду сохранятся, то человечество довольно скоро (через 150-200 лет) может ожидать коллапс.

В последние годы появилось множество разных прогнозов будущего развития географической оболочки и человечества, которые чаще всего носят пессимистический характер.

В этих прогнозах нередко присутствует своеобразный «экологический мазохизм» — самобичевание за обильные негативные воздействия на природу, принятие на себя всех отрицательных влияний на окружающую среду. Однако нам более реальным кажется взгляд на современное состояние географической оболочки как достаточно устойчивое: она способна сопротивляться и ассимилировать большую часть антропогенных воздействий, которые по масштабу пока еще меньше природных катаклизмов, являющихся непременными спутниками естественного хода геологической истории. Так, анализы количеств антропогенных внедрений, времени их существования, взаимодействия с природными компонентами свидетельствуют об отсутствии глобального экологического кризиса, хотя риск его проявления в ряде мест очевиден. Об этом же говорят результаты многочисленных исследований по международным программам (геосферно-биосферная, глобальные изменения и повестка дня на XXI в. и др.), посвященным проблемам разработки концепции устойчивого развития.

Итак, устойчивость планетной системы не настолько нарушена антропогенными вмешательствами, чтобы говорить о всеобщем кризисе или вселенской катастрофе. К настоящему моменту географическая оболочка продолжает жить по естественным законам развития, лишь частично, хотя подчас и серьезно, нарушаемым человеком. Но состояние географической оболочки вызывает опасения и тревогу за возможные ущербы и уроны. Это требует внимательно изучать изменяющиеся условия ее функционирования, ее реакции на антропогенные воздействия и их последствия.

Несмотря на то, что 70% населения мира и производственных мощностей сосредоточены на 12% площади Земли, занимающей 63% площади суши, производственные выбросы распространяются по всему земному шару. Общеизвестно также, что в печени пингвинов, никогда не покидающих Антарктиду, обнаружены пестициды.

Очень беспокоит то обстоятельство, что в настоящее время отсутствуют научно обоснованные оценки так называемых предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ. Особенно неясным является совокупное действие токсикантов. Некоторые данные свидетельствуют о том, что даже небольшие дозы загрязняющих веществ в «ансамбле» вызывают патологию организмов а счет кооперативного действия. Но известны примеры и взаимного ослабления нейтрализации негативных последствий:

При рассмотрении проблем географической оболочки необходимо учитывать, то глобальные изменения зачастую вызываются слабыми по вещественно-энергетическим характеристикам воздействиями. Так, в последние десятилетия широкую известность приобрела проблема озона. Содержание этого газа в атмосфере стала уменьшаться, причем над некоторыми районами образовались «озоновые дыры». В этих «дыра» содержание озона достигло минимальных концентраций. Исчезновение озона, препятствующего проникновению жесткого ультрафиолетового излучения Солнца, угрожает гибелью всего живого на Земле.

Однозначного объяснения процесса уменьшения содержания озона в земной атмосфере пока нет. Ряд ученых полагает, что это лишь одна из стадий естественных природных колебаний. Но весьма правдоподобно и предположение о техногенном происхождении «озоновых дыр». Установлено, в частности, что озон разрушается фреонами, поэтому на международном уровне принято решение об ограничении их использования.

В ряде районов земного шара антропогенные воздействия привели к кризисным и даже катастрофическим состояниям природной среды. Особенно наглядно это проявляется в Чернобыльской зоне и в Приаралье.

Чернобыльская авария, происшедшая в 1986 г., считается крупнейшей экологической катастрофой за историческое время: выброс радиоактивных изотопов (цезия, стронция и др.) из разрушенного четвертого блока атомной станции в 600 раз превысил их количество при бомбардировке Хиросимы в 1945 г. Радионуклиды распространились от зоны аварии воздушными массами, поверхностным и грунтовым стоком, захватив значительные площади. Воды Днепра перенесли их в Черное море и даже в Крым по Северо-Крымскому каналу. В непосредственной близости от атомной станции уже произошли заметные изменения в растительном покрове и животном мире. Сильно пострадали

хвойные леса: к концу 1989 г. площадь погибших сосновых лесов составила 600 га, а на площади около 15 тыс. га наблюдаются те или иные виды поражения хвои, молодых побегов, угнетение роста и т. д. Но особенно тревожит перспектива заболеваний людей, причем всплеск заболеваний ожидается во втором и третьем поколениях.

Кризис в Приаралье имеет другую природу. Он активизирован антропогенньми воздействиями не в самом регионе, а в бассейнах Амударьи и Сырдарьи. Резкое увеличение забора воды из этих рек для орошения привело к уменьшению расхода рек в устьевых их частях. Потребность же в больших объемах воды для орошения была обусловлена долговременной социально-экономической политикой в регионе, нацеленной в основном на производство хлопчатника и риса.

К настоящему времени Аральское море обмелело более чем на 13 м (при средней глубине 20 м), его площадь сократилась на одну треть. Нарушение тепло-влагообмена и солевого баланса в море привело к гибели большинства организмов. На осушенной площади возникла солончаковая пустыня. Разрушение солевой корки сопровождается переносом солей на сотни километров. Вода ушла от портов на десятки километров. Рыбоперерабатывающие заводы, построенные в период, когда Арал был одним из самых продуктивных водоемов мира, получают сейчас рыбу с Атлантики. Резко ухудшилось качество питьевой воды (в стоке рек высокое содержание пестицидов, нитратов и других видов загрязнений) и состояние здоровья людей. Усилилась миграция населения из региона.

Однако первопричиной аральской беды являются природные ритмические изменения: вслед за повышением уровня Аральского моря в середине 50-х годов XX в. произошло его естественное понижение в 80-90-х годах. На этот природный феномен наложилось однонаправленное явление снижения уровня из-за недобора морем вод, используемых для нужд населения. Ранее аналогичная обстановка наблюдалась на Каспии, но с 1977 г. его уровень вновь стал повышаться без какого-либо изменения хозяйственной деятельности в его бассейне. Подобные факты свидетельствуют о сложности причинно-следственных связей в природных явлениях, затронутых антропогенизацией, что требует осторожности в их оценках и прогнозах возможных изменений.

В качестве одного из направлений деятельности по предотвращению нежелательных последствий антропогенизации природы считается необходимым развитие геоэкологии — комплексных научно-практических исследований, в процессе которых специалисты разного профиля, объединяясь вместе, смогут наиболее полно раскрыть связи и отношения между природой, производством и благополучием людей, а также регулировать экологические процессы и контролировать экологическую обстановку. Необходимо, чтобы глобальный и региональный (национальный) комплексный мониторинг, расчет и анализ предшествовали каждому новому шагу в техническом росте. Согласно данным Европейской экономической комиссии ООН, на сохранение приемлемой для человека и биоты природной среды и ее улучшение, на внедрение в производство малоотходной технологии следует ежегодно расходовать не 2-3% валового национального продукта, как это было в конце 80-х годов, а 6-8%.

В проблеме глобальных изменений ключевую роль играет изменение климата, которое в свою очередь зависит от нескольких факторов общегеографического масштаба. Основными из них являются:

— изменение парникового эффекта за счет нарушения баланса так называемых «парниковых газов» и увеличения аэрозольного загрязнения, которые уменьшают прозрачность атмосферы по отношению к тепловому излучению от земной поверхности, что приводит к ее нагреву, а это вызывает каскад неблагоприятных изменений в географической оболочке как целостной системе;

— уменьшение содержания озона в стратосфере из-за «выжигания» его при стратосферных полетах самолетов и ракет, а также вследствие химического взаимодействия с фреонами, диоксидом азота и в различных более сложных фотохимических реакциях;

— изоляция океанических вод (из-за их загрязнения нефтепродуктами и другими веществами) от атмосферы, нарушающая взаимную связь океана и атмосферы, массообмен (прежде всего влагооборот) и энергообмен, а также биологические циклы в океане;

— направленное изменение (ухудшение) состояния земной поверхности:

опустынивание, сведение лесов, распахивание земель, возрастание эрозии с созданием бедлендов и пустошей, увеличение запыленности атмосферы и снижение ее прозрачности;

— увеличение влажности и температуры атмосферного воздуха из-за роста облачности, с одновременным снижением величины активной солнечной радиации, что, видимо, будет носить положительный характер в одних областях и отрицательный в других.

Как уже отмечалось, общей тенденцией современной эволюции поверхности Земли является направление от ледниковья к межледниковью, что обусловливает постепенное, но неравномерное повышение среднеземных температур, количественное уменьшение ледников, увеличение площадей океана за счет затапливаемого континентального шельфа. В связи с этим наблюдается снижение общеземного альбедо и количества поглощаемой планетой солнечной энергии, что в определенной степени нивелирует и ослабляет возможный эффект потепления климата. Роль последнего для географической оболочки в целом и отдельных ее частей неравнозначна: прогнозируются различные варианты отражения на земной поверхности потепления климата, что в известной мере видно из табл. 7.2.

Таблица 7.2

Возможные изменения окружающей среды при потеплении климата

Основной эффект	Возможное следствие	Результат
Таяние ледников и увеличение поверхностного стока	Повышение уровней водоемов, морей и океана	Затопление побережий
Таяние вечной мерзлоты	Заболачивание земной поверхности, изменение состава атмосферы	Вывод земель из хозяйственного освоения
Повышение приземной температуры и удлинение теплого периода	Иссушение поверхности и развитие процессов дефляции	Опустынивание, гибель земель, пылевое загрязнение среды
Удлинение сезона положительных температур	Возрастание продуктивности растений	Облагораживание пастбищ посевов, лесов
Увеличение испарения	Рост облачности и количества атмосферных осад-	Остепнение аридных территорий

	ков Улучшение социально-экологических условий	
Уменьшение продолжительности зимнего периода и массы снега	Улучшение социально-экологических условий	Рост благосостояния людей
Увеличение лесного пояса за счет изменения его верхней и нижней границ, а также северного распространения зоны тайги	Рост зеленой массы, воспроизводства кислорода и поглощения диоксида углерода	Облагораживание природной среды и сред обитания живых организмов
Сокращение горных ледников	Уменьшение обводненности, иссушение пастбищ и освоенных земель, сокращение источников водоснабжения	Увеличение бросовых земель, ухудшение социалыю-экологических условий
Разрастание пустынных территорий	Уменьшение биоразнообразия и биопродуктивности	Ухудшение социально-экологических условий, миграция населения

Наряду с потеплением климата, существенные изменения в географической оболочке могут определяться другими причинами, при этом нужно учитывать их совместные проявления в разных сочетаниях и последствиях. Среди них важны причины, обусловленные:

— колебаниями внутренней активности планеты (вулканические, сейсмические, тепловые и другие эффекты);

— ростом народонаселения;

— перераспределением водного баланса и сокращением запасов пресной воды;

— трансформацией земной поверхности в результате сведения лесов, уничтожения почв, «оголения» горных пород и т. п.;

— радиоактивным и иным энергетическим загрязнением окружающей среды;

— прямым воздействием из Космоса.

Рассмотрим отдельные факторы изменений состояния географической оболочки и их влияние на окружающую среду при том или ином варианте ее функционирования и развития.

Современная экология интенсивно изучает проблемы взаимодействия человека и окружающей среды. Экологи, рассматривая биосферу Земли как экологическую нишу человечества, связывают окружающую среду и деятельность человека в единую систему «природа – общество» и основную задачу видят в управлении и рациональных взаимоотношениях человека и природы. Научно-техническая революция не только обостряет противоречия между обществом и природой, но и создает большие возможности для разрешения этих противоречий путем ликвидации отрицательных последствий деятельности человека.

В нашей стране проводится работа по охране природы и рациональному использованию природных ресурсов. Важную роль в этой работе призвано сыграть экологическое образование и воспитание всех слоев населения, так как решить задачу охраны окружающей среды только силами специалистов по экологии невозможно. За время существования человечества в биосферу поступило порядка 3 млн химических соединений, никогда ранее не встречавшихся в природе, и каждый год к этому перечню прибавляется около 1 тыс. новых.

Экологические задачи должны решаться на каждом этапе промышленного производства в комплексе с другими задачами, а это возможно лишь при условии, что экологические знания станут составной частью мировоззрения инженеров, технологов и других специалистов.

Если учесть, что загрязнение химическими веществами является одним из составных компонентов воздействия промышленности на окружающую среду, то изучение химии окружающей среды можно рассматривать как первую ступень непрерывного процесса природоохранительного и экологического образования.

Источники загрязнения окружающей среды

Загрязнение окружающей среды может происходить как естественным, так и искусственным путем. Естественные источники загрязнения – извержение вулканов, землетрясения, смерчи, ураганы и т.д. Искусственные источники загрязнения связаны с жизнью и деятельностью человека. При этом следует иметь в виду, что в результате деятельности человека нарушается, как правило, равновесие в естественных природных циклах.

К искусственным источникам загрязнения окружающей среды следует отнести промышленное и сельскохозяйственное производство, транспорт, отопление и другое, в результате действия которых меняются состав и свойства воздушной атмосферы, гидросферы, загрязняются поверхностные участки суши. Изменения в экологической ситуации связаны с увеличением объема отходов, сбрасываемых и выпускаемых в воду и воздух, захороненных в земле, причем большая часть веществ, поступающих в окружающую среду, является различного рода химическими соединениями как неорганического, так и органического происхождения.

В последнее десятилетие изменились и темпы использования природных ресурсов. К середине XX в. в США из 17 млн га леса осталось около 8 млн га. Добыча полезных ископаемых в мире удваивается каждые 15 лет, в нашей стране – каждые 10 лет. В результате извержения вулканов ежегодно в атмосферу выбрасывается примерно $80 \cdot 10^{12}$ г взвешенных частиц, при сжигании ископаемого топлива – $30 \cdot 10^{12}$ г, промышленные предприятия дают $15 \cdot 10^{12}$ г. В.И. Вернадский писал: «Лик планеты – биосфера – химически резко меняется человеком сознательно и главным образом бессознательно. Меняется человеком физически и химически воздушная оболочка суши, все ее природные воды».

В настоящее время масштабы антропогенной деятельности приблизились к масштабам природных ресурсов. На рисунке 7.3 представлены мировые запасы ряда металлов по данным американского геохимика Х. Брауна.

Примерные оценки сделаны с учетом возрастания потребления металлов по мере роста населения Земли и увеличения потребности в металлах на душу населения. К настоящему времени во всем мире выплавлено около 24 млрд т железа, из них железо в существующих машинах, деталях составляет примерно 9 млрд т; остальные 15 млрд т уничтожены коррозией, рассеяны в биосфере. В нашей стране прямые потери от коррозии ежегодно составляют около 15 млн т. Сейчас в мире выплавляется в среднем 0,7 млрд т стали в год, а уничтожается в результате коррозии более 10% от этого количества. Средняя продолжительность жизни стальных изделий, как и изделий из цветных и черных металлов, составляет примерно 15 лет.

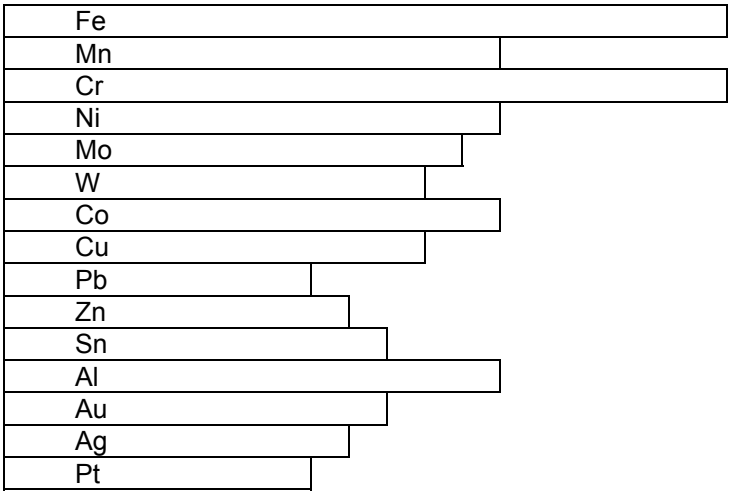


Рис.7.3. Мировые запасы некоторых металлов

Загрязнение воздушного бассейна

Основные загрязняющие вещества

Человек загрязняет атмосферу уже тысячелетиями, однако последствия употребления огня, которым он пользовался весь этот период, были незначительны. Приходилось мириться с тем, что дым мешал дыханию и что сажа ложилась черным покровом на потолке и стенах жилища. Получаемое тепло было для человека важнее, чем чистый воздух и незакопченные стены пещеры. Это начальное загрязнение воздуха не представляло проблемы, ибо люди обитали тогда небольшими группами, занимая неизменно обширную нетронутую природную среду. И даже значительное сосредоточение людей на сравнительно небольшой территории, как это было в классической древности, не сопровождалось еще серьезными последствиями.

Так было вплоть до начала девятнадцатого века. Лишь за последние сто лет развитие развитие промышленности "одарило" нас такими производственными процессами, последствия которых вначале человек еще не мог себе представить. Возникли города-миллионеры, рост которых остановить нельзя. Все это результат великих изобретений и завоеваний человека.

Существуют три основных источника загрязнения атмосферы: промышленность, бытовые котельные, транспорт. Доля каждого из этих источников в общем загрязнении воздуха сильно различается в зависимости от места. Сейчас общепризнанно, что наиболее сильно загрязняет воздух промышленное производство.

Источники загрязнений - теплоэлектростанции, которые вместе с дымом выбрасывают в воздух сернистый и углекислый газ; металлургические предприятия, особенно цветной металлургии, которые выбрасывают в воздух оксиды азота, сероводород, хлор, фтор, аммиак, соединения фосфора, частицы и соединения ртути и мышьяка; химические и цементные заводы. Вредные газы попадают в воздух в результате сжигания топлива для нужд промышленности, отопления жилищ, работы транспорта, сжигания и переработки бытовых и промышленных отходов. Атмосферные загрязнители разделяют на первичные, поступающие непосредственно в атмосферу, и вторичные, являющиеся результатом превращения последних. Так, поступающий в атмосферу сернистый газ окисляется до серного ангидрида, который взаимодействует с парами воды и образует капельки серной кислоты. При взаимодействии серного ангидрида с аммиаком образуются кристаллы сульфата аммония. Подобным образом, в результате химических, фотохимических, физико-химических реакций между загрязняющими веществами и компонентами атмосферы, образуются другие вторичные признаки. Основным источником пирогенного загрязнения на планете являются тепловые электростанции, металлургические и химические предприятия, котельные установки, потребляющие более 70% ежегодно добываемого твердого и жидкого топлива. Основными вредными примесями пирогенного происхождения являются следующие:

- оксиды углерода С0 и CO_2. СО получается при неполном сгорании углеродистых веществ. В воздух он попадает в результате сжигания твердых отходов, с выхлопными газами и выбросами промышленных предприятий. Ежегодно этого газа посту-

пает в атмосферу не менее 1250 млн.т Диоксид углерода является соединением, активно реагирующим с составными частями атмосферы и способствует повышению температуры на планете, и созданию парникового эффекта (парниковый эффект и его воздействие будет рассмотрен ниже). Оксидов углерода больше всего дает черная и цветная металлургия, угольная промышленность;

- сернистый ангидрид SO_2. Выделяется в процессе сгорания серусодержащего топлива или переработки сернистых руд (до 170 млн.т. в год). Часть соединений серы выделяется при горении органических остатков в горнорудных отвалах. Только в США общее количество выброшенного в атмосферу сернистого ангидрида составило 65 процентов от общемирового выброса. Наибольшее количество SO_2 поступает в окружающую среду от работы энергетических установок (50%), предприятий черной и цветной металлургии;

- серный ангидрид SO_3. Образуется при окислении сернистого ангидрида. Конечным продуктом реакции является аэрозоль или раствор серной кислоты в дождевой воде, который подкисляет почву, обостряет заболевания дыхательных путей человека. Выпадение аэрозоля серной кислоты из дымовых факелов химических предприятий отмечается при низкой облачности и высокой влажности воздуха. Листовые пластинки растений, произрастающих на расстоянии менее 11 км. от таких предприятий, обычно бывают густо усеяны мелкими некротическими пятнами, образовавшихся в местах оседания капель серной кислоты. Пирометаллургические предприятия цветной и черной металлургии, а также ТЭС ежегодно выбрасывают в атмосферу десятки миллионов тонн серного ангидрида;

- сероводород H_2S и сероуглерод CS_2. Поступают в атмосферу раздельно или вместе в другими соединениями серы. Основными источниками выброса являются предприятия по изготовлению искусственного волокна, сахара, коксохимические, нефтеперерабатывающие, а также нефтепромыслы. В атмосфере при взаимодействии с другими загрязнителями подвергаются медленному окислению до серного ангидрида;
- оксиды азота. Основными источниками выброса являются предприятия, производящие азотные удобрения, азотную кислоту и нитраты, анилиновые красители, нитросоединения, вискозный шелк, целлулоид. Количество оксидов азота,

поступающих в атмосферу, составляет 20 млн.т. в год. Больше всего оксидов азота поступает в атмосферу от теплоэлектростанций (ТЭС), предприятий черной металлургии;

- соединения фтора. Источниками загрязнения являются предприятия по производству алюминия, эмалей, стекла, керамики, стали, фосфорных удобрений. Фторосодержащие вещества поступают в атмосферу в виде газообразных соединений - фтороводорода или пыли фторида натрия и кальция. Соединения характеризуются токсическим эффектом. Производные фтора являются сильными инсектицидами;
- соединения хлора. Поступают в атмосферу от химических предприятий, производящих соляную кислоту, хлоросодержащие пестициды, органические красители, гидролизный спирт, хлорную известь, соду. В атмосфере встречаются как примесь молекулы хлора и паров соляной кислоты. Токсичность хлора определяется видом соединений и их концентрацией. В металлургической промышленности при выплавке чугуна и при переработке его на сталь происходит выброс в атмосферу различных тяжелых металлов и ядовитых газов. Так, в расчете на 11 т передельного чугуна выделяется кроме 12,7 кг сернистого газа и 14,5 кг пылевых частиц, определяющих количество соединений мышьяка, фосфора, сурьмы, свинца, паров ртути и редких металлов, смолистых веществ и цианистого водорода.

Аэрозольное загрязнение атмосферы

Аэрозоли - это твердые или жидкие частицы, находящиеся во взвешенном состоянии в воздухе. Твердые компоненты аэрозолей в ряде случаев особенно опасны для организмов, а у людей вызывают специфические заболевания. В атмосфере аэрозольные загрязнения воспринимаются в виде дыма, тумана, мглы или дымки. Значительная часть аэрозолей образуется в атмосфере при взаимодействии твердых и жидких частиц между собой или с водяным паром. Средний размер аэрозольных частиц составляет 11-51 мкм. В атмосферу Земли ежегодно поступает около 11 куб. км пылевидных частиц искусственного происхождения. Большое количество пылевых частиц образуется также в ходе производственной деятельности людей. Све-

дения о некоторых источниках техногенной пыли приведены ниже:

Выбросы пыли при производственных процессах, млн.т/год

1. Сжигание каменного угля	93,60
2. Выплавка чугуна	20,21
3. Выплавка меди (без очистки)	6,23
4. Выплавка цинка	0,18
5. Выплавка олова (без очистки)	0,004
6. Выплавка свинца	0,13
7. Производство цемента	53,37

Основными источниками искусственных аэрозольных загрязнений воздуха являются ТЭС, которые потребляют уголь высокой зольности, обогатительные фабрики, металлургические, цементные, магнезитовые и сажевые заводы. Аэрозольные частицы от этих источников отличаются большим разнообразием химического состава. Чаще всего в их составе обнаруживаются соединения кремния, кальция и углерода, реже - оксиды металлов: железа, магния, марганца, цинка, меди, никеля, свинца, сурьмы, висмута, селена, мышьяка, бериллия, кадмия, хрома, кобальта, молибдена, а также асбест. Еще большее разнообразие свойственно органической пыли, включающей алифатические и ароматические углеводороды, соли кислот. Она образуется при сжигании остаточных нефтепродуктов, в процессе пиролиза на нефтеперерабатывающих, нефтехимических и других подобных предприятиях. Постоянными источниками аэрозольного загрязнения являются промышленные отвалы - искусственные насыпи из переотложенного материала, преимущественно вскрышных пород, образуемых при добыче полезных ископаемых или же из отходов предприятий перерабатывающей промышленности, ТЭС. Источником пыли и ядовитых газов служат массовые взрывные работы. Так, в результате одного среднего по массе взрыва (1250-300 тонн взрывчатых веществ) в атмосферу выбрасывается около 12 тыс. $м^3$. условного оксида углерода и более 1150 т пыли. Производство цемента и других строительных материалов также является источником загрязнения атмосферы пылью. Основные технологические процессы этих производств - измельчение и химическая обработка шихт, полуфабрикатов и получаемых продуктов

в потоках горячих газов всегда сопровождается выбросами пыли и других вредных веществ в атмосферу. К атмосферным загрязнителям относятся углеводороды - насыщенные и ненасыщенные, включающие от 11 до 13 атомов углерода. Они подвергаются различным превращениям, окислению, полимеризации, взаимодействуя с другими атмосферными загрязнителями после возбуждения солнечной радиацией. В результате этих реакций образуются перекисные соединения, свободные радикалы, соединения углеводородов с оксидами азота и серы часто в виде аэрозольных частиц. При некоторых погодных условиях могут образовываться особо большие скопления вредных газообразных и аэрозольных примесей в приземном слое воздуха. Обычно это происходит в тех случаях, когда в слое воздуха непосредственно над источниками газопылевой эмиссии существует инверсия - расположения слоя более холодного воздуха под теплым, что препятствует воздушных масс и задерживает перенос примесей вверх. В результате вредные выбросы сосредоточиваются под слоем инверсии, содержание их у земли резко возрастает, что становится одной из причин образования ранее неизвестного в природе фотохимического тумана.

Фотохимический туман (смог)

Фотохимический туман представляет собой многокомпонентную смесь газов и аэрозольных частиц первичного и вторичного происхождения. В состав основных компонентов смога входят озон, оксиды азота и серы, многочисленные органические соединения перекисной природы, называемые в совокупности фотооксидантами.

Так, попадающий в воздух SO_2 , взаимодействуя с водой по реакции:

$$SO_2 + H_2O = H_2SO_3,$$

образует мельчайшие капли H_2SO_3, которые вместе с пылью создают в воздухе дисперсную систему, называемую часто лондонским смогом (еще недавно это был бич крупнейших промышленных городов). В последнее время основной угрозой для горожан становится так называемый фотохимический смог.

Фотохимический смог возникает в результате фотохимических реакций при определенных условиях: наличии в атмосфере высокой концентрации оксидов азота, углеводородов и других загрязнителей, интенсивной солнечной радиации и безветрия или очень слабого обмена воздуха в приземном слое при мощной и в течение не менее суток повышенной инверсии. Он образуется согласно схеме

$$\xrightarrow{h\nu}$$

$$NO_2 \rightarrow NO + O,$$

$$O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M^*,$$

$$O_3 + NO \rightarrow NO_2 + O_2,$$

(M * – газообразная молекула в возбужденном состоянии). Устойчивая безветренная погода, обычно сопровождающаяся инверсиями, необходима для создания высокой концентрации реагирующих веществ. Такие условия создаются чаще в июне-сентябре и реже зимой. При продолжительной ясной погоде солнечная радиация вызывает расщепление молекул диоксида азота с образованием оксида азота и атомарного кислорода. Атомарный кислород с молекулярным кислородом дают озон. Казалось бы, последний, окисляя оксид азота, должен снова превращаться в молекулярный кислород, а оксид азота - в диоксид. Но этого не происходит. Оксид азота вступает в реакции с олефинами выхлопных газов, которые при этом расщепляются по двойной связи и образуют осколки молекул и избыток озона. В результате продолжающейся диссоциации новые массы диоксида азота расщепляются и дают дополнительные количества озона. Возникает циклическая реакция, в итоге которой в атмосфере постепенно накапливается озон. Этот процесс в ночное время прекращается. В свою очередь озон вступает в реакцию с олефинами. В атмосфере концентрируются различные пероксиды, которые в сумме и образуют характерные для фотохимического тумана оксиданты. Последние являются источником так называемых свободных радикалов, отличающихся особой реакционной способностью. Такие смоги - нередкое явление над Лондоном, Парижем, Лос-Анджелесом, Нью-Йорком и другими городами Европы и Америки. По своему физиологическому воздействию на организм человека они крайне опасны для дыхательной и кровеносной системы и часто бывают причиной преждевременной смерти городских жителей с ослабленным здоровьем.

Загрязнение атмосферы подвижными источниками выбросов

В последние десятилетия в связи с быстрым развитием автотранспорта и авиации существенно увеличилась доля выбросов, поступающих в атмосферу от подвижных источников: грузовых и легковых автомобилей, тракторов, тепловозов и самолетов. Согласно оценкам, в городах на долю автотранспорта приходится (в зависимости от развития в данном городе промышленности и числа автомобилей) от 30 до 70 % общей массы выбросов. В США в целом по стране по крайней мере 40 % общей массы пяти основных загрязняющих веществ составляют выбросы подвижных источников.

Автотранспорт

Основной вклад в загрязнение атмосферы вносят автомобили, работающие на бензине (в США на их долю приходится около 75%), затем самолеты (примерно 5%), автомобили с дизельными двигателями (около 4%), тракторы и другие сельскохозяйственные машины (около 4%), железнодорожный и водный транспорт (примерно 2%). К основным загрязняющим атмосферу веществам, которые выбрасывают подвижные источники (общее число таких веществ превышает 40), относятся оксид углерода (в США его доля в общей массе составляет около 70%), углеводороды (примерно 19%) и оксиды азота (около 9%). Оксид углерода (CO) и оксиды азота ($N0_x$) поступают в атмосферу только с выхлопными газами, тогда как не полностью сгоревшие углеводороды (H_nC_m) поступают как вместе с выхлопными газами (что составляет примерно 60 % от общей массы выбрасываемых углеводородов), так и из картера (около 20 %), топливного бака (около 10 %) и карбюратора (примерно 10 %); твердые примеси поступают в основном с выхлопными газами (90 %) и из картера (10 %).

Наибольшее количество загрязняющих веществ выбрасывается при разгоне автомобиля, особенно при быстром, а также при движении с малой скоростью (из диапазона наиболее экономичных). Относительная доля (от общей массы выбросов) угле-

водородов и оксида углерода наиболее высока при торможении и на холостом ходу, доля оксидов азота - при разгоне. Из этих данных следует, что автомобили особенно сильно загрязняют воздушную среду при частых остановках и при движении с малой скоростью.

Создаваемые в городах системы движения в режиме "зеленой волны", существенно сокращающие число остановок транспорта на перекрестках, призваны сократить загрязнение атмосферного воздуха в городах. Большое влияние на качество и количество выбросов примесей оказывает режим работы двигателя, в частности соотношение между массами топлива и воздуха, момент зажигания, качество топлива, отношение поверхности камеры сгорания к ее объему и др. При увеличении отношения массы воздуха и топлива, поступающих в камеру сгорания, сокращаются выбросы оксида углерода и углеводородов, но возрастает выброс оксидов азота.

Несмотря на то, что дизельные двигатели более экономичны, таких веществ, как CO, H_nC_m, NO_x, выбрасывают не более, чем бензиновые, они существенно больше выбрасывают дыма (преимущественно несгоревшего углерода), который к тому же обладает неприятным запахом, создаваемым некоторыми несгоревшими углеводородами). В сочетании же с создаваемым шумом, дизельные двигатели не только сильнее загрязняют среду, но и воздействуют на здоровье человека гораздо в большей степени, чем бензиновые.

Самолеты

Хотя суммарный выброс загрязняющих веществ двигателями самолетов сравнительно невелик (для города, страны), в районе аэропорта эти выбросы вносят определяющий вклад в загрязнение среды. К тому же турбореактивные двигатели (так же как дизельные) при посадке и взлете выбрасывают хорошо заметный на глаз шлейф дыма. Значительное количество примесей в аэропорту выбрасывают и наземные передвижные средства, подъезжающие и отъезжающие автомобили.

В аэропорту Лос-Анджелеса в 1970 г эмиссия от самолетов и наземных средств составила (табл. 7.3):

Таблица 7.3

Эмиссия загрязняющих веществ
в аэропорту г. Лос-Анжелес

Транспорт	Вещество, т			
	CO	H_nC_m	NO_x	Аэрозоль
Самолеты	10250	18000	2500	3820
Наземные средства	8980	1235	750	80

Согласно полученным оценкам, в среднем около 42 % общего расхода топлива тратится на выруливание самолета к взлетно-посадочной полосе перед взлетом и на заруливание с ВПП после посадки (по времени в среднем около 22 мин). При этом доля несгоревшего и выброшенного в атмосферу топлива при рулении намного больше, чем в полете. Помимо улучшения работы двигателей (распыление топлива, обогащение смеси в зоне горения, использование присадок к топливу, впрыск воды и др.), существенного уменьшения выбросов можно добиться путем сокращения времени работы двигателей на земле и числа работающих двигателей при рулении (только за счет последнего достигается снижение выбросов в 3 - 8 раз).

В последние 10 - 15 лет большое внимание уделяется исследованию тех эффектов, которые могут возникнуть в связи с полетами сверхзвуковых самолетов и космических кораблей. Эти полеты сопровождаются загрязнением стратосферы оксидами азота и серной кислотой (сверхзвуковые самолеты), а также частицами оксида алюминия (транспортные космические корабли). Поскольку эти загрязняющие вещества разрушают озон, то первоначально создалось мнение (подкрепленное соответствующими модельными расчетами), что планируемый рост числа полетов сверхзвуковых самолетов и транспортных космических кораблей приведет к существенному уменьшению содержания озона со всеми последующими губительными воздействиями ультрафиолетовой радиации на биосферу Земли. Однако более глубокий подход к этой проблеме позволил сделать заключение о слабом влиянии выбросов сверхзвуковых самолетов на состояние стратосферы. Так, при современном числе сверхзвуковых самолетов и выбросе загрязняющих веществ на высоте около 16 км относительное уменьшение содержания O_3 может составить примерно 0.60%; если их число возрастет до 200 и

высота полета будет близка к 20 км, то относительное уменьшение содержания O_3 может подняться до 17%. Глобальная приземная температура воздуха за счет парникового эффекта, создаваемого выбросами сверхзвуковых самолетов может повыситься не более чем на 0,1° С.

Более сильное воздействие на озонный слой и глобальную температуру воздуха могут оказать хлорфторметаны фреон-11 и фреон-12 – газы, образующиеся в частности, при испарении аэрозольных препаратов, которые используются в качестве компонентов для дезодорантов. Поскольку ХФМ достаточно инертны, то они распространяются и долго живут не только в тропосфере, но и в стратосфере. Обладая довольно сильными полосами поглощения в окне прозрачности атмосферы (8-12 мкм), фреоны усиливают парниковый эффект. Наметившееся в последние десятилетия темпы роста производства фреонов могут привести к увеличению содержания фреона-11 и фреона-12 в 2030 г. до 0,8 и 2,3 млрд. т (при современных значениях 0,1 и 0,2 млрд. т). Под влиянием такого количества фреонов общее содержание озона в атмосфере уменьшится на 18%, а в нижней стратосфере даже на 40%; глобальная приземная температура возрастет на 0,12-0,21° С.

В заключение можно отметить, что все эти антропогенные эффекты пока еще перекрываются в глобальном масштабе естественными факторами, например, загрязнением атмосферы вулканическими извержениями.

Контроль выброса в атмосферу загрязняющих веществ (ПДК)

Приоритет в области разработки предельно допустимых концентраций в воздухе принадлежит СССР. Предельно допустимые концентрации (ПДК) - такие концентрации, которые не оказывают на человека и его потомство прямого или косвенного воздействия, не ухудшают их работоспособности, самочувствия, а также санитарно-бытовых условий жизни людей.

Обобщение всей информации по ПДК , получаемой всеми ведомствами, осуществляется в Главной Геофизической Обсерватории . Чтобы по результатам наблюдений определить значения воздуха, измеренные значения концентраций сравнивают с максимальной разовой предельно допустимой концен-

трацией и определяют число случаев, когда были превышены ПДК , а также во сколько раз наибольшее значение было выше ПДК . Среднее значение концентрации за месяц или за год сравнивается с ПДК длительного действия - среднеустойчивой ПДК. Состояние загрязнение воздуха несколькими веществами, наблюдаемые в атмосфере города, оценивается с помощью комплексного показателя - индекса загрязнения атмосферы (ИЗА). Для этого нормированные на соответствующее значения ПДК и средние концентрации различных веществ с помощью несложных расчетов приводят к величине концентраций сернистого ангидрида, а затем суммируют. Максимальные разовые концентрации основных загрязняющих веществ были наибольшими в Норильске (оксиды азота и серы), Фрунзе (пыль), Омске (угарный газ). Степень загрязнения воздуха основными загрязняющими веществами находится в прямой зависимости от промышленного развития города. Наибольшие максимальные концентрации характерны для городов с численностью населения более 500 тыс. жителей. Загрязнение воздуха специфическими веществами зависит от вида промышленности, развитой в городе. Если в крупном городе размещены предприятия нескольких отраслей промышленности, то создается очень высокий уровень загрязнения воздуха, однако проблема снижения выбросов многих специфических веществ до сих пор остается нерешенной.

Многие вещества, такие как SO_2, оксиды азота и другие, обычно присутствуют в атмосфере в низких (фоновых) концентрациях, не представляющих опасности для человека. Они образуются в результате природных процессов и из антропогенных источников. К загрязнителям воздуха следует отнести вещества в высоких, по сравнению с фоновыми, концентрациях, которые возникают в результате химических или биологических процессов и которые могут оказывать неблагоприятное воздействие на человека и окружающую среду. Приведем обобщенные данные по выбросу некоторых веществ в атмосферу от антропогенных источников (млн т/год): CO – 280...310; оксиды серы (в пересчете на серу) – 60...100; NO_x – 40...50; углеводороды ($C_n H_m$) – 80...90; взвешенные твердые частицы – 70...80.

Дымовые газы ТЭС загрязняют атмосферу и другими вредными веществами. Так, ТЭС мощностью 1 млн кВт, потребляя за сутки около 1ООО т угля, выбрасывает в окружающую среду до 1 кг ртути. На 1 т черновой меди, получаемой в медеплавильной

промышленности, приходится около 2 т пыли, в которой содержится до 15% меди, до 60% оксида железа и примерно до 4% мышьяка, ртути, цинка, свинца.

Рассеивание некоторых элементов в атмосфере наносит вред и другим производствам. В Англии, например, была забракована целая партия готовых полупроводниковых приборов из-за попадания в них кадмия из загрязненного воздуха, источником которого служила котельная соседнего завода. В точнейших приборах, выпускаемых американской промышленностью (лазеры, магнитные системы, интегральные схемы), от 50 до 70% неполадок происходит из-за различных видов загрязнителей, в том числе микроэлементов, попадающих в изделия при их изготовлении.

Жители крупных городов уже столкнулись с проблемой загрязнения воздуха. Зарегистрировано много случаев, когда, попадая в районы с интенсивным автомобильным движением, они теряли сознание в результате отравления CO. Из-за сильного загрязнения воздуха центральные районы некоторых крупнейших городов мира стали малопригодными для проживания. Многие индустриальные районы окружены техногенной атмосферой. В промышленный район Рура попадает около 5O% всей пыли, поступающей в воздух в ФРГ. Типичные загрязнители больших городов на Западе следующие (в % по отношению к примесям): CO – 48,5; NO_x – 15,0; углеводороды ($C\ 4_nH_m$) – 8,0; SO_2 – 14,9; твердые частицы – 13,7, причем основными источниками этих загрязнений, по данным Национального управления США, являются транспорт (44%), отопление (20%), промышленность (14%), сжигание мусора (5%). Как видно, значительную долю загрязнений в городах дает транспорт. Приведем для сравнения следующие цифры: при сжигании 1 т кустарника в атмосферу попадает около 2 кг углеводородов общей формулы $C_n\ H\ 4_m$, тогда как при сгорании 1 т автомобильного топлива – около 60 кг.

В связи с ростом населения и объема производства, развитием энергетики увеличиваются тепловые выбросы в атмосферу. В особенности они ощутимы в крупных городах и промышленных центрах (тепловые шапки над городом, более высокие температуры в центральных районах города). Повышенные загрязнения воздушного бассейна над крупными городами вызывают даже увеличение среднего количества осадков, особенно в середине недели, когда загрязнений больше.

Часть озона и кислорода реагирует с углеводородами, содержащимися в воздухе, по свободнорадикальному механизму, образуя различные органические соединения, такие как кетоны, альдегиды, пероксиды. Эти вещества оказывают раздражающее действие на человеческий организм.

Проблема чистого воздуха – наиболее важная задача настоящего времени, так как загрязнение атмосферы трудно локализировать, поскольку перемещение воздушных масс не подвластно человеку. Уже сейчас ряду стран, таким как США, Япония, ФРГ, не хватает «собственного» кислорода, и его недостаток компенсируется за счет кислорода соседних стран.

Хотя в США насчитывается лишь 4% жителей планеты, на их долю приходится 25% выбросов углекислого газа, а потребление энергии на душу населения уже много лет неизмеримо выше, чем в развивающихся странах. Также использует чужие возможности для своих газовых отходов Германия. Имея лишь 0,3% лесов Земли и 1% мирового населения, Германия выделяет в атмосферу 4% окиси углерода промышленностью. По мнению стран Юга, именно те, кто больше других повинен в неблагоприятных изменениях мирового климата (то есть в загрязнении воздуха и "парниковом эффекте"), должны жестче ограничить себя.

Однако в самом мощном государстве Севера (США) отвергают подобную логику. Его Конгресс единогласно выступил против подписания любого соглашения, которое сковало бы развитие американской энергетики, давая поблажки развивающимся странам в области ограничения выбросов углекислоты в атмосферу. "В США хотят во что бы то ни стало сохранить свое экономическое превосходство и свой образ жизни – даже за счет интересов мирового сообщества", - говорит Тони Джунипер, руководитель международного природозащитного движения "Друзья Земли".

Различный подход к экологическим проблемам, и особенно связанным с ним обязательствам, выявился на встрече "большой восьмерки" в Денвере и на последовавшей за ней специальной сессии Генеральной Ассамблеи ООН в Нью-Йорке. В результате ожесточенных споров, из-за которых специальная сессия закрылась на целые сутки позже намеченного срока, была принята расплывчатая резолюция, ратующая за "значительное" сокращение выбросов углекислоты. А вот упоминание о 2010 г. исчезло вовсе. Резолюция сената США, приуроченная к

боннской встрече, показала, что Вашингтон не только не намерен идти дальше договоренностей в Рио-де-Жанейро, но по существу отказывается от них.

Продажа квот на выбросы парниковых газов. У России появилась уникальная возможность продавать воздух. Японское правительство всерьез рассматривает возможность выкупа у России неиспользованной части квоты на выбросы в атмосферу "парниковых газов", установленной конференцией ООН по проблемам глобального потепления. На прошедшей в конце 1997 года в Японии международной конференции ООН по глобальному потеплению впервые были четко определены обязательства государств по сокращению выбросов в атмосферу так называемых парниковых газов. В соответствии с протоколом, конференции Япония должна сократить эти выбросы на 6% по сравнению с уровнем 1990 года. Каждый процент снижения выбросов - это огромные затраты для государства, связанные с сокращением промышленного производства и переходом к более совершенным технологиям. Единственный выход правительство Японии видит теперь в приобретении квот, недоиспользованных другими странами. Например, у России, которая в результате спада промышленного производства оказалась в более выгодном положении и даже располагает некоторым резервом на право загрязнять планету. Для России эта сделка стала бы очень выгодной: во-первых, японцы подскажут, как усовершенствовать российские технологии и снизить выброс газов, а во-вторых, еще и заплатят нам за излишек квоты. Но можно быть уверенным, что в сложившейся экономической ситуации финансовые поступления по этим каналам вряд ли пойдут на природоохранные нужды.

Кроме химических загрязнений большое влияние на самочувствие человека оказывает специфический вид загрязнения атмосферы – шумы.

Шумы

Шумы относятся к числу вредных для человека загрязнений атмосферы. Раздражающее воздействие звука (шума) на человека зависит от его интенсивности, спектрального состава и продолжительности воздействия. Шумы со сплошными спектрами менее раздражительны, чем шумы узкого интервала частот.

Наибольшее раздражение вызывает шум в диапазоне частот 3000-5000 Гц.

Работа в условиях повышенного шума на первых порах вызывает быструю утомляемость, обостряет слух на высоких частотах. Затем человек как бы привыкает к шуму, чувствительность к высоким частотам резко падает, начинается ухудшение слуха, которое постепенно развивается в тугоухость и глухоту. При интенсивности шума 145-140 дБ возникают вибрации в мягких тканях носа и горла, а также в костях черепа и зубах; если интенсивность превышает 140 дБ, то начинает вибрировать грудная клетка, мышцы рук и ног, появляются боль в ушах и голове, крайняя усталость и раздражительность; при уровне шума свыше 160 дБ может произойти разрыв барабанных перепонок.

Однако шум губительно действует не только на слуховой аппарат, но и на центральную нервную систему человека, работу сердца, служит причиной многих других заболеваний. Одним из наиболее мощных источников шума являются вертолеты и самолеты, особенно сверхзвуковые.

При тех высоких требованиях к точности и надежности управления современным самолетом, которые предъявляются к экипажу летательного аппарата, повышенные уровни шумов оказывают отрицательное воздействие на работоспособность и быстроту принятия информации экипажем. Шумы, создаваемые самолетами, вызывают ухудшение слуха и другие болезненные явления у работников наземных служб аэропортоа, а также у жителей населенных пунктов, над которыми пролетают самолеты. Отрицательное воздействие на людей зависит не только от уровня максимального шума, создаваемого самолетом при полете, но и от продолжительности действия, общего числа пролетов за сутки и фонового уровня шумов. На интенсивность шума и площадь распространения существенное влияние оказывают метеорологические условия: скорость ветра, распределение температуры воздуха по высоте, облака и осадки.

Особенно острый характер проблема шума приобрела в связи с эксплуатацией сверхзвуковых самолетов. С ними связаны шумы, звуковой удар и вибрация жилищ вблизи аэропортов. Современные сверхзвуковые самолеты порождают шумы, интенсивность которых значительно превышает предельно допустимые нормы.

Парниковый эффект

Парниковый эффект обусловлен различной прозрачностью атмосферы в разных диапазонах излучения: большей — в коротковолновом, меньшей — в длинноволновом (инфракрасном). Уменьшение прозрачности в инфракрасном диапазоне обусловлено наличием в атмосфере «парниковых газов», т. е. компонентов и примесей. Парниковыми компонентами и примесями являются водяной пар, диоксид углерода, метан, диоксид азота, хлорфторуглеводороды (фреоны), различные аэрозоли. Эффект, вызванный совокупным действием парниковых газов, значителен: при отсутствии парникового эффекта средняя температура Земли оказалась бы на 33° ниже, чем сейчас, т. е. составляла бы около -18°С.

В процессе эволюции Земли ее климат, ландшафт, а в дальнейшем хозяйственная деятельность и привычки человека приспособились к такому термодинамическому состоянию, которое отвечает многолетнему (вековому) значению парникового эффекта. Однако в настоящее время происходят процессы, дестабилизирующие энергетический баланс Земли за счет нарушения парникового эффекта, который имеет общую тенденцию возрастания. Основным фактором таких изменений в «климатической машине» Земли является увеличение концентрации $C0_2$ в атмосфере. Степень поглощения теплоты углекислым газом известна уже около 100 лет, начиная с классической работы С. А. Аррениуса. Точные измерения содержания CO_2 в атмосфере Земли проводятся с 1958 г. За 40-летний период концентрация CO_2, в атмосфере возросла с $315 \cdot 10^{-6}$ до $354 \cdot 10^{-6}$ долей массы. Такое увеличение составляет половину вклада, который обусловлен сжиганием органического топлива. Вторая половина этого вклада изъята из атмосферы различными процессами, что подтверждает реальность механизма саморегулирования содержания CO_2 карбонатной системы «атмосфера - океан - донные осадки». Кроме того, содержание других парниковых газов возросло таким образом, что их совокупное влияние приравнивается к повышению концентрации CO_2 еще на 50-100%.

Суммарное потепление вследствие увеличения содержания этих газов составляет 0,04° С за каждые 10 лет или 0,2° С за период измерений. Такое потепление не соответствует по ве-

личине парниковому эффекту из-за термической инерции океана.

Прямые свидетельства, указывающие на связь во время оледенений между содержанием в атмосфере парниковых газов и климатом, можно «извлечь» из пузырьков воздуха, включенных в антарктический лед, который образовался в древние эпохи в результате спресовывания падающего снега. В пространствах между снежными кристалликами консервировалась воздушная среда того времени. Такие образования были исследованы на станциях Восток, Бэрд и др. по ледниковому керну скважин на глубину почти 3 км учеными разных стран. Верхние 2 км сформировались в течение последнего ледниковья и предшествующего межледниковья, последние 350-370 м льда — в голоцене, за 10 тыс. лет. Лабораторный анализ газов, имеющих возраст до 160 тыс. лет, показал, что в древней атмосфере концентрации диоксида углерода и метана менялись согласованно и «в такт» с изменениями средней локальной температуры, которая характеризуется соотношением изотопов водорода в молекулах воды. На этом основании, в частности, установлено, что во время после последнего ледникового периода, продолжающегося уже 10 тыс. лет, и в предшествующую последнему оледенению эпоху межледниковья (т. е. 130 тыс. лет назад) средняя температура в рассматриваемой части Антарктиды была на 10° С выше, чем в ледниковую эпоху, а на Земле в целом указанные контрастные климатические периоды различались по температуре на 5° С. Обратите внимание, как мало в общем надо, чтобы межледниковье сменилось оледенением. В эти же периоды межледниковий содержание в атмосфере CO_2 было на 25% больше, а метана — на 100% больше, чем в ледниковую эпоху. Причем неясно, что было причиной, а что следствием. Ведь уменьшение оледенения влияет, например, на биогеохимические циклы, так как увеличивается масса живых организмов и ускоряется разложение органического вещества; в то же время эти процессы, воздействуя на газовый состав воздуха и, следовательно, на парниковый эффект, способны через него влиять на глобальный климат и оледенение. Добавим и еще два обстоятельства: зависимость между оледенением и тектонической деятельностью из-за перераспределения масс вещества земной коры (гляциоизостазия); изменение площади океанов и (вследствие температурных различий) биологической активности организмов Мирового океана.

Еще более подробные сведения о содержании парниковых газов и изменениях климата имеются для последних 100 лет, в течение которых (это установлено точно) концентрация CO_2 в атмосфере повысилась на 25%, а метана — на 100%.

Какой же характер может принять изменение температуры в ближайшем будущем? Чтобы дать такой прогноз, необходимо ответить, как минимум, на три вопроса:

1. Какое количество CO_2 и других парниковых газов будет выброшено в атмосферу?

2. Насколько при этом возрастут их концентрации в атмосфере (учитывая, что они зависят и от прихода, и от расхода)?

3. Какой климатический эффект это изменение вызовет, какие другие механизмы саморегуляции включатся в дело?

Существует несколько вариантов ответов, но ни один не подтвержден экспериментально.

Основным источником поступления CO_2 в географическую оболочку является вулканизм: из недр в течение года в нее поступает 1 млрд. т CO_2. Эволюционно (в масштабе всей истории Земли) этот источник CO_2 является единственным, так как во всех других случаях имеет место обращение (круговорот) CO_2.

В ходе планетарного развития содержание CO_2 уменьшалось. Например, на протяжении фанерозоя его количество в атмосфере снизилось в 10 раз. Однако на протяжении последних десятилетий происходит обратный процесс: наблюдается заметное (на 3-4 млрд. т в год) увеличение прихода CO_2 по сравнению с расходом.

Таблица 7.4

Баланс CO_2 в географической оболочке

Оборот CO_2	Приход (+), расход (-), млрд т
Фотосинтез на суше	-110
Дыхание организмов суши	+45
Разложение органического вещества	+54 -+55
Сжигание остатков (сведение лесов)	+1-2
Сжигание топлива	+5
Поглощение океаном	-93
Выделение океаном	+90

Из табл. 7.4 видно, что положительное сальдо баланса равно почти половине количества CO_2, выделяемого в результате сжигания топлива и различного рода остатков (на лесосеках, в подсечно-огневом земледелии в слаборазвитых странах мира, для уничтожения пожнивных остатков и мусора).

В заключение следует заметить, что выводы, сделанные в 1995 г. межправительственной группой экспертов по проблеме климата, *не подтверждают прямой связи между увеличением содержания парниковых газов и «глобальным потеплением».* Потепление наблюдается не везде. «Отсутствие анализа социально-экономических корней тех изменений окружающей среды и биосферы, которые породили рост концентрации парниковых газов в атмосфере и интенсификацию парникового эффекта», а также «рассмотрение проблем изменения климата в отрыве от глобальных изменений природной среды в целом и игнорирование социально-экономических факторов» привели к гипертрофированному преувеличению роли концентрации парниковых газов, считает известный специалист пр проблеме окружающей среды К. Я. Кондратьев.

Такие выводы свидетельствуют о том, что при рассмотрении проблемы возрастания содержания парниковых газов и их возможной роли в окружающем мире возможны нестандартные решения в определении причин и следствий.

Примером подобных решений могут служить результаты исследований парникового эффекта группой под руководством А. Л. Яшина. Их заключение сводится к тому, что данные по приземной температуре воздуха свидетельствуют о дискретном потеплении климата (в общем это противоречит сложившимся представлениям о зависимости потепления от непрерывно возрастающей концентрации диоксида углерода и других парниковых газов). Более того, в разных географических зонах эффект потепления выражен неодинаково, причем в экваториальной зоне он практически отсутствует. Рассматривая возможные последствия потепления климата, в том числе очевидную неизбежность повышения уровня Мирового океана, исследователи утверждают, что отрицательные последствия парникового эффекта сильно преувеличены, а некоторые положительные не раскрыты. Так, оценивая влияние повышенных концентраций диоксида углерода на фотосинтез и продуктивность различных культурных растений, они отмечают, что возрастание концентрации CO_2 в атмосфере, увеличение влажности и температуры в

целом благоприятно скажутся на фотосинтезе и биопродуктивности, в то же время снижение солнечной радиации вследствие увеличения облачности может отрицательно повлиять на них. Большое значение имеет указание о том, что скорость адаптивных реакций растительного покрова Земли должна ограничить скорость антропогенных воздействий на климат. В этой связи, подчеркивают исследователи, «для хозяйственной деятельности в России очень важно получить более точные представления о всех изменениях физико-географических параметров, которые произойдут на ее территории при разных величинах потепления». В частности, они предлагают проанализировать время голоценового климатического оптимума (5-8 тыс. лет назад), когда температура была на 1-2 °С выше современной, и последнего (микулинского) межледниковья, когда температура была на 2-3 °С выше настоящей. Первая интересна как наиболее близкая нам по времени, а вторая — как весьма продолжительная в период более сильного потепления, с более резкими изменениями всей природной среды Земли.

Загрязнение гидросферы

В последние годы существенно обострились проблемы, связанные с загрязнением воды. Чистая вода становится поистине дефицитнейшим веществом. Внимание всех стран мира к вопросам охраны гидросферы подтверждается и тем фактом, что по инициативе ООН десятилетие 1981–1990 гг. было объявлено десятилетием питьевой воды. Ученые считают, что к 2000 г. потребление пресной воды на Земле увеличится в пять раз. К этому следует добавить, что для обеспечения нормального существования, человек должен вводить воды в организм примерно в 2 раза больше по массе, чем питательных веществ.

На поверхности суши ежегодно выпадает примерно 120000 км^3 пресной воды в виде дождя, снега, града. Из этого количества 32000 км^3 воды попадает в ручьи, реки, моря и океаны, а большая часть оставшейся воды частично испаряется, часть ее остается в растительном и животном мире, другая часть пополняет подземные запасы вод. По расчетам специалистов, в составе мантии Земли воды содержится в 10–12 раз больше, чем в Мировом океане.

В атмосфере находится примерно 0,0005% общего запаса свободной воды, причем 86% ее поступает за счет испарений с поверхности океанов и морей, 14% – с поверхности суши. Казалось бы, воды на Земле достаточно, однако запасы пресной воды распределены на ней далеко не равномерно, причем многие резервуары ее уже сейчас сильно загрязнены. Ряд стран в настоящее время подходит к исчерпанию своих водных запасов.

Главной причиной истощения водных ресурсов является сброс неочищенных промышленных и сельскохозяйственных стоков в общие источники и резервуары с чистой водой. По расчетам в 2000 г. потребление воды в мире на промышленные и бытовые нужды составило 23400 км^3/год, что приведело к такому же увеличению объема поступающих в океан загрязненных вод.

Загрязнение воды представляет собой целый комплекс проблем. Одна из них – загрязнение даже очень малыми количествами токсичных веществ. Особую опасность в этом плане представляют соединения свинца, используемые, в частности, как присадки к бензину, соединения ртути, оказывающие чрезвычайно сильное разрушительное действие на живые организмы. Для разложения некоторых веществ, попавших в воду, требуется кислород, что приводит к уменьшению его содержания в воде. Например, для полного окисления 1 г углерода необходимо 2,67 г кислорода, т.е. весь кислород, содержащийся в 300 л воды при 20 ^{0}C. На полное окисление 1 л нефти требуется столько кислорода, сколько его содержится в 400000 л воды. Чтобы полностью обезвредить все нефтяные загрязнения, попадающие за год в океан, потребуется примерно $7\cdot10^9$ м^3 чистой морской воды.

Совершенно ясно, что сброс неочищенных или плохо очищенных сточных вод в различные водоемы только из-за нехватки кислорода может привести к исчезновению всякой жизни в воде. Некоторые районы Рейна стали мертвыми, т.е. загрязнены настолько, что в них отсутствует необходимое количество кислорода для размножения и развития бактерий, участвующих в разложении различного рода загрязнителей. Воды этой реки ежегодно несут в море более 24 млн т вредных отходов промышленных предприятий, минеральных солей, нефтяных продуктов, так как до впадения в Северное море воды реки используются примерно 30 раз. Ежегодно с промышленными стоками в Рейн попадает 3150 т хрома, 1520 т меди, 12300 т цинка, 70 т ртути, 350 т мышьяка. Каждый час в реки поступает 1250 т хлоридов (что эквивалентно 62 вагонам с солью). Загрязнению подверга-

ются не только реки, но и озера, моря и океаны. В США 20 млн т отходов, содержащих различные химические вещества, ежегодно сбрасываются в озеро Верхнее, озеро Эри превратилось в отстойник сточных вод. По ориентировочным данным, в настоящее время масштабы нефтяных загрязнений океана составляют 10–25% его площади (следует иметь в виду, что 1 т нефти загрязняет 6 км^2 площади моря).

По источникам загрязнения сточные воды можно разделить на промышленные и бытовые. Количество бытовых вод составляет примерно 200 л/сут на человека. Они почти полностью разрушаются биологически, так как все примеси, содержащиеся в воде, имеют органическую природу.

Но не все промышленные сточные воды разрушаются биологическим путем. Большинство из этих отходов являются ядами для микроорганизмов, разлагающих непромышленные отходы, поэтому обработку промышленных и бытовых стоков целесообразно проводить раздельно. Количество кислорода (в млн$^{-10}$), необходимое для окисления содержащихся в воде биологически разлагающихся веществ, называется биохимической потребностью в кислороде (БПК). Чем меньше БПК, тем более чистой является вода. Так, для воды горных ручьев БПК<1 млн$^{-10}$, БПК питьевой воды меньше 5 млн$^{-10}$, канализационной – 100–500 млн$^{-10}$. Для оценки качества воды используется еще одна характеристика – химическая потребность в кислороде (ХПК). Это то количество кислорода, которое необходимо для разложения всех веществ органического происхождения, содержащихся в воде.

Состав сточных вод разнообразен. Основные компоненты непромышленных сточных вод следующие (в млн$^{-10}$): жиры – 140; белки – 42; углеводы – 34; детергенты (синтетические моющие средства) – 5,6; аминосахара – 1,7; амиды – 2,7; растворимые кислоты – 12,6.

Если количество сточных вод и содержание в них примесей невелико, то для их очистки достаточно естественных процессов седиментации и бактериального окисления. Важной проблемой является удаление из сточных вод основной массы азотных и фосфорных удобрений, которые, попадая с водой в водоемы, вызывают рост водорослей. Кроме того, нитраты отличаются высокой токсичностью.

Аммиак из сточных вод удаляется аэрацией – пропусканием воздуха через воду в специальных башнях, при этом удается из-

влечь до 92% аммиака. Для очистки от нитратов применяют коагуляцию соединениями железа и известью с последующей фильтрацией выделяющихся осадков либо адсорбцию ионообменными смолами.

Сильно загрязняются водоемы излишним употреблением удобрений в сельском хозяйстве. Количество удобрений, вносимых в почву, непрерывно растет, в то время как эффективность их действия уменьшается. Значительная часть удобрений не усваивается растениями, смывается дождями, талыми водами, сбегает в реки, водохранилища. В последних на обильном питании бурно развиваются водоросли, особенно сине-зеленые. При их разложении выделяется большое количество сероводорода, отравляющего водоемы. Большую тревогу вызывает загрязнение водоемов пестицидами – химическими веществами, используемыми для борьбы с вредителями сельского хозяйства.

Нельзя не отметить также, что в последние годы существенно понизился pH осадков во всем мире. Так, pH дождей в районе Больших Озер (США) изменился от 5,6 в 1955 г. до 4,6 в 1979 г. Повышенная кислотность водоемов отрицательно влияет на их растительность и животный мир, при pH 3,0...3,5 водная среда становится гибельной для всех рыб и почти для всех растений.

Большое значение для человечества имеет потепление климата, которое наблюдается сегодня.

Реакция Мирового океана на потепление

В функционирующей системе «океан — атмосфера» изменение одной составляющей требует адекватной реакции другой. К настоящему времени опубликован целый ряд вариантов изменения уровня Мирового океана и связанных с этим явлений из-за глобального потепления. Варианты изменений называются сценариями. Согласно наиболее осторожным из них, уровень моря к 2100-му году поднимется на 56,3 см. По максимальному сценарию эта величина составит 345 см. Скорее всего, подъема уровня Мирового океана в таких пределах не будет.

Из теоретической схемы, объясняющей взаимодействие факторов, которые определяют подъем уровня океана, следует, что первотолчком процесса является повышение температуры земной поверхности вследствие парникового эффекта. Это потепление, если оно охватит воды Мирового океана, приведет к

расширению воды и повышению ее уровня на 25 см на каждый градус потепления воды. Вторым эффектом является увеличение испарения воды, вследствие чего при незначительном понижении температуры деятельной поверхности произойдет усиление парникового эффекта. Подъем глобальной температуры практически сразу отразится на температуре деятельного слоя океана, получающего энергию непосредственно от Солнца, но окажется незаметным для более глубоких слоев. Считается, что с потеплением произойдет ослабление океанической циркуляции (которая, как мы уже отмечали, зависит от разности температур «нагревателя» и «холодильника» системы), а в связи с этим — перестройка поверхностной и глубинной циркуляции вод.

Влияние снежного и ледового покрова на уровень океана

Количество воды, содержащейся в виде снега и льда на суше, изменится при повышении глобальных температур. Наибольшие массы снега и льда, как известно, сосредоточены в Антарктиде и Гренландии. Из-за того, что повышение температуры приполярных районов, судя по существующим моделям климата, будет большим, чем среднепланетарное, прямое влияние потепления на усиление таяния и испарения будет значительным. Косвенно потепление скажется в разрушении материкового и морского оледенения. Однако общее влияние этих процессов на оледенение Земли может сгладиться из-за возрастания количества осадков в виде снега в полярных районах за счет общего увлажнения климата.

Предварительные результаты экспериментов с использованием модели циркуляции атмосферы показали, что при удвоении содержания CO_2 в атмосфере величина таяния может составить от 10,5 до 16,5 мм слоя воды в год при условии установления термического равновесия. Распад материковых льдов Антарктиды довольно-таки вероятен по той причине, что их подошва в западных и восточных районах находится ниже уровня океана, т. е. в неустойчивом состоянии.

Имеются свидетельства того, что оледенение западной Антарктиды полностью исчезало в периоды глобальных потеплений недавнего геологического прошлого. Например, 120 тыс. лет назад уровень моря был на 5-6 м выше современного. К со-

жалению, скорость дегляциации изучена недостаточно для того, чтобы количественно оценить возможные эффекты. По некоторым данным, полный распад ледника западной Антарктиды может произойти за 200-500 лет, однако режим этого процесса не установлен.

Величина подъема уровня океана за столетие считается равной 10-15 см, причем 5 см составляет эффект от термического расширения воды вследствие повышения температуры.

В табл. 7.5 приведены расчетные величины возможного подъема уровня моря в будущем через 25-летние промежутки в соответствии с различными сценариями этого процесса. Для сравнения в таблицу включены данные, основанные на экстраполяции в будущее тех изменений положения уровня океана, которые установлены по наблюдениям в прошлом.

Таблица 7.5

Оценка подъема уровня моря (см) в 2000-2100 гг. по разным сценариям

Год	Базовый сценарий	Средний сценарий		Максимальный	Историческая
		умеренный	умеренно-сильный		
2000	4,8	8,8	13,2	17,1	2-3
2025	13,0	26,1	39.3	54,9	4,5-8,25
2050	23,0	52,3	78,6	116,7	7-12
2075	38,0	91,2	136,8	212,7	9,5-15,5
2100	56,2	144,4	216,6	345,0	12-18

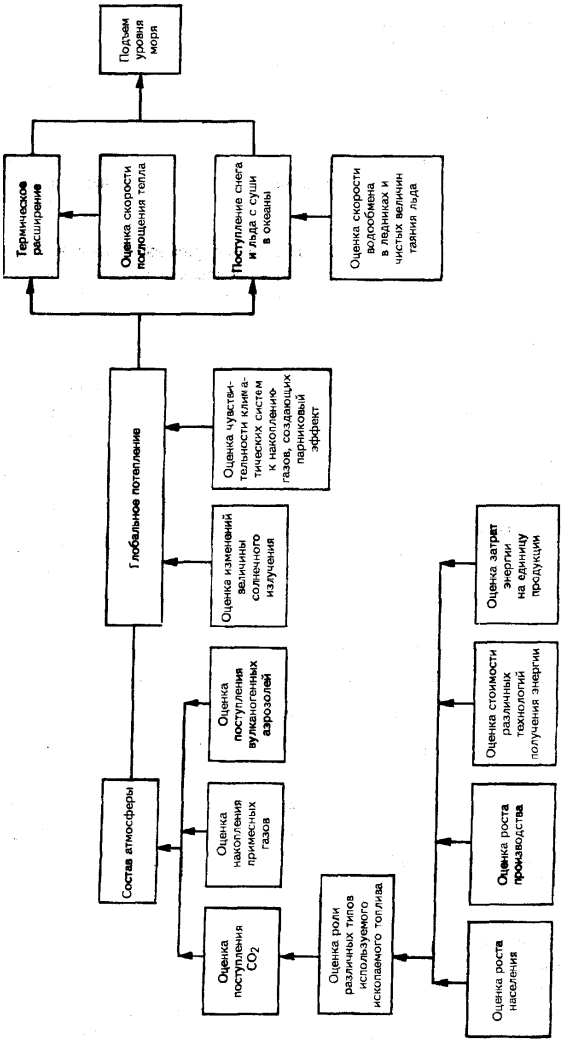


Рис.7.4. Соотношение факторов, влияющих на уровень моря

Возможные последствия повышения уровня моря

Исследования, проведенные Национальной академией наук США, показывают, что последствия от поднятия уровня моря даже по наиболее скромным сценариям могут быть очень существенными. По утверждению экспертов, наибольшие последствия ожидаются не ранее 2025 г., но низко расположенные участки территории испытают их раньше. Прежде всего это касается разрушения сооружений, находящихся в береговой зоне моря на низменных побережьях (например, только в штате Луизиана повышение уровня моря со скоростью 1 м за 100 лет приведет к ежегодному размыву 100 км намывных низин (т. е. 10 000 км^2 за 100 лет). Произойдут неблагоприятные изменения на дренированных низменных землях из-за подпора дренажных вод и последующего засоления.

Вторжение соленых вод приведет к неблагоприятным процессам в эстуариях (как это имеет место в Азовском море вследствие уменьшения притока пресных вод и их замещения солеными черноморскими). Обитающие в эстуариях солоноватоводные биоценозы могут погибнуть, если не успеют переместиться выше по течению рек.

В ряде случаев следует учитывать необходимость защиты морской среды от загрязнений, содержащихся на участках захоронения токсичных отходов, а также в прибрежных осушках, выполняющих функцию естественного очистного сооружения. Только в Соединенных Штатах Америки в зоне штормовых нагонов, которая будет мигрировать в глубь страны, находится, по данным соответствующих служб, более 1000 используемых в настоящее время приемников опасных отходов и, вероятно, не меньшее количество уже заброшенных.

Аналогичные исследования, выполненные для территории России, Украины, Евразии прогнозируют повсеместные размыв и отступание береговых зон, а также затопление низменных побережий.

Справедливости ради отметим, что наблюдения, проведенные в 90-х годах XX в. на многих побережьях Мирового океана (перуанском Тихого океана, индостанском Индийского океана, западноафриканском Атлантического океана, финско-российском Балтийского моря, голландском Северного моря, российском Белого моря, аджарском Черного моря), свидетельствуют о

их стабильности, а местами даже об отступании береговой линии в сторону моря. Реальное возрастание содержаний диоксида углерода и некоторых парниковых газов усиливает оранжерейный эффект планеты в небольшой мере, но все же это может способствовать потеплению климата и таянию льдов с увеличением объема морских вод, а как следствие — океанической трансгрессии, если полагать неизменными объемы нашей планеты. В настоящее время глобального наступления вод на сушу нет. Вполне возможно, что эффект от возрастания содержания парниковых газов гасится или нейтрализуется какими-то иными процессами.

Исследования природного и антропогенного поступления различных газов в атмосферу убеждают в подчиненности последнего фактора. Глобальные естественные изменения до сих пор преобладают в географической оболочке, и именно они играют главную роль в функционировании и изменении окружающей среды. В связи с этим уместно вновь напомнить о ритмичности природных процессов и явлений, различные сочетания которых изучены еще недостаточно. Существенно также заметить, что природные загрязнители типа пылегазовых вулканических выделений в горячем активном состоянии проникают не только в нижние, но и в верхние слои атмосферы (стратосферу), тогда как менее активные и в целом более слабые по масштабам проявления промышленные выбросы рассредоточиваются лишь в низах атмосферы. Решение проблемы глобального антропогенного загрязнения до сих пор базируется на довольно хорошо выясненных закономерностях распределения выбросов локальных источников, в то время как особенности регионального загрязнения больше известны из модельных построений, а не из реальных данных.

Загрязнение поверхности Земли

Из недр Земли ежегодно для различных нужд и дальнейшей переработки извлекается на поверхность 350 млн т железа, 7,4 млн т фосфора, 5,7 млн т меди, 2,8 млн т свинца, 2,5 млн т бария, 1,5 млн т хрома, 79 тыс. т ртути и много других элементов. По предварительным оценкам, из каждой тонны сырья в среднем получается 90% отходов (в расчете на одного жителя количество только бытовых отходов составляло в 1980 г. в Австрии – 270 кг,

в СССР – 240 кг, в ФРГ – 234 кг, причем эти количества растут с каждым годом).

Современная добыча руды открытым способом связана с использованием значительных площадей. Например, открытые разработки медной руды в штате Юта (США) занимают площадь 7 км^2 при глубине 1 км, из котлована ежедневно извлекается 180 тыс. т пустой породы и 90 тыс. т руды. В Криворожском железорудном бассейне под отвалы и так называемые хвостохранилища ушло более 10 тыс. га черноземов.

В последние годы значительно возросли масштабы переработки минеральных ресурсов, что привело к миграции и рассеиванию различных элементов, в том числе тяжелых металлов. Из 77 металлов периодической таблицы 52 вовлечены в сферу человеческой деятельности, причем не менее 20 из них токсичны и таят серьезную опасность для живых организмов. Масштабы ежегодного загрязнения окружающей среды токсичными металлами (в тыс. т/год) видны из таблицы 7.6. Основной источник поступления многих металлов в окружающую среду – сжигание угля. Так, при ежегодном сжигании 2,4 млрд т каменного угля и 0,9 млрд т бурого вместе с золой в окружающую среду попадает 280 тыс. т мышьяка и много других металлов, в то время как мировое производство этого металла составляет 40 тыс. т в год.

Загрязнение окружающей среды возрастает за счет коррозии металлических изделий и сооружений и изнашивания различных конструкций, деталей и узлов. Изнашиваются даже изделия из благородных металлов.

Таблица 7.6

Количество токсичных металлов, выбрасываемых в атмосферу за год (тыс. т)

Источник загрязнения	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
Цветная металлургия	5,31	21,1	9,6	77,3	116,2
Черная металлургия	0,07	5,9	1,2	50,3	35,0
Сжигание мусора и отходов	1,4	5,3	3,4	8,9	37,0
Всего от антропогенных источников	7,3	32,3	47,4	449,2	314,4

Чрезвычайно неприятны загрязнители синтетического производства. Большие надежды возлагаются на пластмассы как на заменители металлов, подвергающихся коррозии. Но как поступить с огромными массами пластмассы, когда она придет в негодность? На этот вопрос пока ответа нет.

Очевидно, что основные источники загрязнения различными элементами и соединениями, в том числе и токсичными, сосредоточены в густонаселенных районах. Только один металлургический завод на каждый миллион тонн стали выделяет в окружающую среду (в тыс. т): пыли – 100, CO_2 – 30, SO_2 – 8, NO_x – 3, H_2S – 1, HCN – 0,05, HCl – 0,04, шлаков – 800, шламов – 30.

В последние годы в биосферу ежегодно выбрасывается 20 млн т монооксида углерода, свыше 50 млн т оксидов азота, более 50 млн т различных углеводородов, более 250 млн т мелкодисперсных аэрозолей. Только за счет сжигания угля в различных энергетических установках в окружающую среду некоторые элементы поступают в количествах, превышающих их добычу из природных источников. Так, ртути поступает больше в 8700 раз, мышьяка – в 125, урана – в 60, бериллия – в 10 раз.

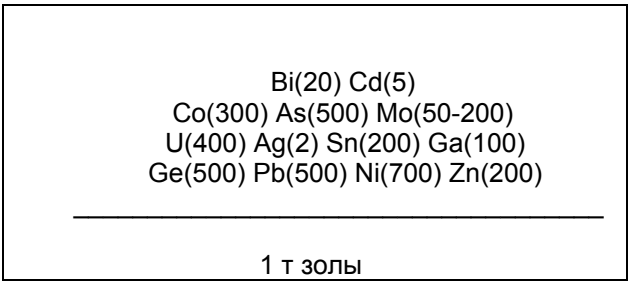


Рис. 7.5. Среднее содержание некоторых металлов в каменноугольной золе (г/т)

Несколько слов следует сказать и о контактах человека с загрязнителями окружающей среды. Существует много путей проникновения химических веществ в организм – стоматологиче-

ский, при вдыхании, через кожу, слизистую оболочку, вследствие инъекции или имплантации, не говоря уже о попадании их с продуктами питания. Биосфера не только принимает и пропускает через себя значительные количества различных металлов и других соединений, но и включает их в круговорот органических веществ, что может привести к неблагоприятным последствиям для человека. Вот один пример. Предельно допустимые концентрации монооксида углерода, обладающего токсическим действием, для рабочих с 8-часовым рабочим днем составляет 50 млн$^{-10}$. При концентрации его 1000 млн$^{-10}$ через 4 часа – смерть. В организме CO реагирует с гемоглобином крови, образуя карбоксигемоглобин, препятствующий нормальному переносу кислорода.

Рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды

Кардинальное решение проблемы охраны окружающей среды состоит в разработке и внедрении экологически безопасных, безотходных технологических процессов и производств. Идеальными в том смысле являются многие природные экосистемы, в которых отходы одних организмов служат средой обитания для других.

Во многих странах сейчас ведутся работы по созданию и использованию экологически чистых источников энергии – солнца, ветра, приливов и отливов. В XXI в. на околоземной орбите планируется разместить солнечно-энергетические комплексы, которые будут преобразовывать солнечную энергию в электрическую. Это приведет к тому, что ископаемое топливо все больше будет применяться как ценное сырье для химической, нефтехимической и других отраслей промышленности, ибо, как сказал Д.И. Менделеев, использовать его для сжигания – все равно, что отапливаться ассигнациями.

В настоящее время очень важным является вопрос утилизации отходов, включение их в производство. Например, отходы горных предприятий могут использоваться для получения строительных материалов, в дорожном строительстве, при производстве минеральных удобрений. Многие вредные примеси можно не только удалять химическим путем, но и получить на их основе ценное сырье.

В развитых зарубежных странах каждый новый автомобиль примерно на 40% состоит из регенерированного металла, при изготовлении самолетов используется до 60% алюминия, бывшего в употреблении.

Рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды в настоящее время решаются в двух направлениях. Одно из них – разработка и внедрение малоотходных и безотходных технологий и процессов, другое – модернизация действующих предприятий; замена устаревших процессов новыми; повышение качества очистки газообразных выбросов, сточных вод; внедрение замкнутых производственных циклов («оборотная вода»); увеличение срока службы выпускаемых изделий за счет уменьшения их коррозии (например, лазерная обработка металлических деталей); уменьшение расхода металлов при их изготовлении по существующим технологиям, использование новых материалов и т.д.

На предприятиях химической промышленности отходящие газы более чем на 80% очищаются от оксидов азота путем превращения их в азот с помощью различных катализаторов. В производстве азотной кислоты отходящие газы после адсорбционных колонок содержат не более 0,05–0,2 об.% оксидов азота. После применения метода восстановления с помощью природного газа, водорода, аммиака или оксида углерода их содержание в очищенном газе снижается до 0,001–0,005 об.%, что соответствует их предельно допустимой концентрации (ПДК). Очистка отходящих газов от SO_2 осуществляется в промышленных условиях по следующей схеме (известняковый процесс):

$$SO_2 + CaCO_3 + 1/2O_2 = CaSO_4 + CO_2.$$

Уменьшение выбросов вредных газов ТЭС возможно при замене одного топлива другим. Например, теплоэлектростанция мощностью 1 млн кВт при работе на каменном угле за год выбрасывает в окружающую среду 11 тыс. т SO_2, на природном газе – только 20 т.

Следует, однако, отметить, что очистка и утилизация отходящих газов пока еще не везде проводятся на должном уровне. Так, в отходящих газах предприятий черной металлургии и заводов по производству минеральных удобрений содержится практически одинаковое количество азота, однако первые обезвреживаются только на 0,4% NO_x, тогда как вторые – более 80%.

Так же обстоит дело с дымовыми газами ТЭС, очистка которых от SO_2 и NO_x практически не осуществляется, тогда как на предприятиях цветной металлургии утилизируется более 40% SO_2.

Современный уровень технологии очистки сточных вод позволяет получить воду практически любой степени чистоты. Поэтому можно считать, что загрязнение водоемов происходит по причине не технического, а экономического характера. Чем меньше свежей воды использует предприятие на 1 т продукта, тем экологически совершеннее его система водоснабжения. При этом большое значение имеет кратность (повторность) использования воды в производстве. Кратность *k* использования воды можно рассчитать по формуле

$$k = Vi / Vo,$$

где *Vi* – общий объем воды; *Vo* – объем свежей воды. Для предприятий ряда отраслей промышленности в нашей стране *k* имеет следующие значения: нефтехимическая – 6,96; химическая – 4,77; черная металлургия – 4,66; пищевая – 3,07; теплоэнергетика – 2,24; легкая промышленность – 1,25. Из этих данных видно, что наименее рационально используется вода в теплоэнергетике и в легкой промышленности.

В настоящее время в СНГ в оборотных системах предприятий циркулирует примерно 215 км^3 воды, что составляет две трети всего объема воды, используемого промышленностью. На одну треть сократился сброс загрязнений в водоемы; количество вредных веществ, выбрасываемых стационарными источниками, уменьшилось на 13%. Расход чистой воды на 1 т стали снизился до 45,2 м^3 по сравнению с 47,5 м^3, а количество сточных вод уменьшилось с 39,6 до 37,1 м^3.

Из сточных вод легче всего удаляются органические вещества, труднее всего – соли. На крупных очистных сооружениях, действующих в нашей стране, из сточных вод извлекается до 90% соединений органического происхождения, от 20% до 40% неорганических, однако содержание солей при этом в сточных водах не снижается. Для обессоливания используют дистилляцию, электродиализ, метод обратного осмоса и другие, но наилучшие результаты по очистке воды от солей достигаются при последовательном использовании нескольких методов. В последние годы для тонкой очистки воды применяют так называе-

мые ядерные фильтры, получаемые при прохождении ускоренных частиц через тонкие слои вещества. Полученная таким образом вода применяется в микроэлектронике при финишной обработке микросхем, для изготовления вакцин с повышенной иммунологической эффективностью, которая достигается благодаря высокой степени очистки воды от белковых примесей.

Инфекционные бактерии и вирусы, присутствующие в воде, уничтожаются при ее хлорировании:

$$Cl_2 + H_2O = HCl + HClO,$$
$$HClO = HCl + O.$$

Атомарный кислород – один из сильнейших окислителей, поэтому он разрушает большинство веществ органического происхождения.

Специфические проблемы перед экологией ставит производство синтетических материалов, поскольку синтетические полимеры невозможно уничтожить биологически. Сжигание их увеличивает загрязнение воздушного бассейна. Выход следует искать на пути комплексного использования сырья и утилизации отходов.

Д.И. Менделеев говорил, что в химии нет отходов, а есть неиспользованное сырье. Самый эффективный путь рационального использования природных ресурсов – это создание безотходных (или малоотходных) производств.

Примером принципиально новых технологических процессов в черной металлургии может служить бескоксовый, бездоменный метод получения железа восстановлением его из руды водородом или конвертированным природным газом. В этом методе из технологической среды полностью устраняются стадии, наиболее загрязняющие окружающую среду: доменный передел, производство кокса и агломерата. По новому методу более чем в 3 раза, уменьшается потребность в воде, значительно сокращается количество сточных вод, практически полностью исключается загрязнение воздушной атмосферы.

Различные страны мира в неодинаковой мере загрязняют окружающую среду. Например, на долю США приходится 40% от мирового объема промышленных загрязнений. Доля стран СЭВ в загрязнении природной среды составляла в своё время 15% при объеме мировой промышленной продукции 33%.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Каковы различия естественных и искусственных источников загрязнения окружающей среды?
2. Назовите основные источники загрязнения атмосферы и гидросферы.
3. Что означают понятия «предельно допустимые концентрации», «биологическая потребность в кислороде», «химическая потребность в кислороде»?
4. Предложите наиболее эффективные способы очистки газовых выбросов, сточных вод.
5. Каковы виды воздействия на природную среду?
6. Что такое малоотходные и безотходные технологии? Приведите конкретные примеры.
7. Почему состав воздуха на всех высотах одинаков?
8. Каковы основные факторы антропогенного характера?
9. Какие основные химические соединения входят в состав выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания?
10. Какова классификация аэрозолей?
11. Какие факторы определяют образование смога?
12. Какие химические вещества атмосферы определяют выпадение кислотных дождей?
13. На какой высоте находится наибольшее количество озона?
14. В чём состоит защитная функция озона?
15. Какую роль играет азот и его соединения в образовании и разрушении озона?
16. Каково биологическое действие озона?
17. Какие виды человеческой деятельности наиболее опасны для озонового слоя?
18. Приведите основные источники выделения углекислого газа в атмосферу.
19. Приведите типичные загрязнители атмосферы.
20. Каково влияние повышенных шумов на человека?
21. Какие факторы определяют жёсткость природных вод?
22. Чем регулируется pH озёрных и речных вод?
23. Парниковый эффект, его действие на природу.
24. Каково влияние повышения температуры на уровень мирового океана?

25. Каковы последствия повышения температуры на Земле для природы и человека?

ПРОГРАММА КУРСА
«КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ»

История естествознания

Естественно-научная и гуманитарная культуры, их отличие и взаимосвязь. Познание мира человеком. Предмет естествозна-

ния. Естествознание эмпирическое (наблюдение, эксперимент, опыт) и теоретическое. Неорганическое естествознание (неживая природа) и органическое естествознание (живая природа). История естествознания: непосредственное созерцание природы. Труды Пифагора, Геродота, Эратосфена, Птолемея, Аристолтеля (естествознание древнего мира), аналитическое расчленение (XV–XVIII вв.), гелиоцентрическая система Коперника, открытия Галилея. Переход от абсолютизированного естествознания к синтетическому (XVIII–XIX вв.). Кризис естествознания в начале XX в., современное естествознание.

Структура естествознания

Структура естествознания, классификация наук, взаимосвязь и различие естественных наук. Связь естествознания и общественных наук. Тенденция развития наук как составной части естествознания. Технические науки. Математика – основа наук. Система, открытые и закрытые системы, системный подход. Взаимодействие естествознания и философии. Естествознание и сознание. Роль кибернетики в развитии естествознания. Специфика естествознания. Преимущества естествознания. Роль эксперимента в естествознании.

Естественно-научное описание природы

Структурные уровни организации материи: микро-, макро- и мегамиры. Вещество и поле.

Концепции описания природы – корпускулярная и континуальная. Взаимодействие микро-, макро- и мегамиров, дальнодействие, близкодействие. Микросостояние, принципы суперпозиции, неопределенности, дополнительности. Пространство и время. Соотношение пространства и времени, теория относительности Эйнштейна. Следствия из теории Эйнштейна. Необратимость времени. Математическое, физическое, химическое, биологическое пространство и время. Многомерное пространство.

Законы сохранения энергии в макроскопических системах. Космические циклы. Динамические и статистические закономерности в природе.

Понятие порядка и беспорядка в природе. Энергия. Виды взаимодействий, гравитационное, электромагнитное, слабое,

сильное взаимодействия. Теории Большого объединения и Суперобъединения Виды энергии. Взаимосвязь массы и энергии. Закон сохранения энергии. Энтропия как фактор возрастания беспорядка, принципы возрастания энтропии. Энтропия закрытых и открытых систем. Самоорганизация систем (синергетика) Энтропия в обществе. Энтропия и здоровье. Термодинамика и общественные отношения. Энтропия и информация.

Эволюция Вселенной

Понятие Вселенной. Галактика, Состав Галактик. Звезды. Теория Большого взрыва. Образование и эволюция звёзд. Источник энергии звезд. Образование и эволюция Солнечной системы. Состав Солнечной системы. Образование планет. Образование химических соединений в процессе развития Вселенной.

Географические системы

Земля. Строение Земли. Теории образования Земли и Луны. Строение Земли. Географическая оболочка земли. Атмосфера, гидросфера, литосфера.

Химические системы

Энергетика химических процессов, влияние энтропийного и энтальпийного факторов на протекание химических процессов. Возникновение химических элементов в природе, распространенность химических элементов в космосе и на Земле. Уровни химической организации материи. Зарождение жизни на Земле. Особая роль углерода в живой природе.

Биологические системы

Особенности биологического уровня организации материи. Отличие живой природы от неживой. Принципы эволюции, воспроизводства и развития живых систем. Теории происхождения жизни на Земле. Теории эволюции. Ламаркизм. Основы теории дарвинизма. Доказательства эволюции организмов. Неодарвинизм и неоламаркизм. Самоорганизация в живой и неживой при-

роде. Принципы универсального эволюционизма. Основные понятия генетики: ДНК, РНК, ген, код наследственности, мутации.

Многообразие живых организмов – основа организации и устойчивости биосферы. Наследственность, генетика, вмешательство человека в генетику, результаты нарушения кода наследственности, инженерная генетика. Искусственный биосинтез. Законы Менделя. Взаимосвязь математики, кибернетики, физики, химии в решении задач молекулярной биологии. Бионика.

Человек и среда его обитания

Человек – высшее творение природы. Теории происхождения человека. Отличие человека от животных. Основы физиологии человека, здоровье человека, его эмоции, творчество, работоспособность. Геологическая роль человека. Биоэтика. Биосфера и ноосфера. Учение Вернадского о ноосфере.

Экологические проблемы естествознания

Взаимоотношение биологических объектов. Экология, экологические системы. Проблема охраны окружающей среды и взаимоотношения с ней как проблема выживания человека и человеческого сообщества. Экология как один из путей к созданию единой культуры. Загрязнение атмосферы. Источники загрязнения атмосферы. Основные загрязняющие компоненты воздушной среды. Парниковый эффект. Смог. Шумы. Загрязнение гидросферы, почв. Методы оценки качества природной среды. Понятие ПДК, ПДН. Рациональное использование природных ресурсов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Очерки истории естествознания и техники: Сб. трудов. Вып. 37. Киев: Наукова думка, 1984. 118 с.
2. Принципы истории естествознания и техники: Теория и история. М.: Наука, 1993. 362 с.
3. Развитие естествознания в России / Под ред. С.Р. Микульского. М.: Наука, 1977.
4. Готт В.С. Философские проблемы современного естествознания: Учебн. пос. М.: Высш. школа, 1974. 264 с.

5. Чешев В.В., Родос Б.Б. Особенности развития современного естествознания. Томск: Изд-во ТГУ, 1981. 133 с.
6. Баженов Л.Б. Строение и функции естественно-научной теории. М.: Наука, 1978. 264 с.
7. Солдатов А.В. Понятие пространства и времени. Л.: Изд-во ЛГУ, 1981. 71 с.
8. Буслова М.К., Городевич Т.А., Готт В.С. Современное естествознание в системе науки и техники. М.: Наука и техника, 1990. 216 с.
9. Бигон М., Харпер Дж., Таунсен К., Экология. Особи, популяции и сообщества. Т.1, 2. М.: Мир, 1989.
10 Богдановский В.Г. Химическая экология. М.: Изд-во МГУ, 1994. 256 с.
11. Кемп П., Армс К. Введение в биологию. М.: Мир, 1988. С. 11–152.
12. Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. Биология. Т. 3. М.: Мир, 1990. С. 253–282.
13. Дикерсон Р., Грей Г., Хейт Дж. Основные законы химии. Т. 2. М.: Мир, 1982. С. 5–112, 263–349.
14. Кузнецов В.И., Идлис Г.М., Гутина В.Н. Естествознание. Гл. V—VIII. М.: 1996.
15. Полинг Л. Общая химия. М.: Мир, 1964. 845 с.
16. Кузнецов В.И. Общая химия. Тенденция развития. М.: Высш. школа, 1989.
17. Алпатьев А.М. Развитие, преобразование и охрана природной среды. Л.: Просвещение, 1983. 240 с.
18. Ягодин Г.А., Третьякова Л.Г. Химическая технология и охрана окружающей среды. М.: Высш. школа, 1984. 64 с.
19 Бондарев Л.Г. Микроэлементы – благо и зло. М.: Просвещение, 1984. 144 с.
20 Слейбо У., Персонс Т. Общая химия. М.: Мир, 1979. 550 с.
21. Богдановский Г.А. Химическая экология. М.: Изд-во МГУ, 1994. 237 с.
22. Фримантл М. Химия в действии. Ч. 1–2. М.: Мир, 1991. 528 с.
23. Ягодин Г.А., Раков Э.Г., Третьякова Л.Г. Химия и химическая технология в решении глобальных проблем. М.: Высш. школа, 1988. 174 с.
24. Андерсон Д.М. Экология и наука об окружающей среде. Л.: Химия, 1985. 164 с.
25. Дерпгольц В.Ф. Мир воды. Л.: Недра, 1979. 254 с.

26. Вороновская Г.Н. Проблемы мониторинга микроэлементов в окружающей природной среде // Сиб. эколог. журн. 1994. Т. 1. № 4. С. 383–385.
27. Гивишвили Г. Что происходит с кислородом атмосферы? // Зеленый мир. 1966. № 3. С. 7.
28. Данилов-Данильян Е.И. Экологизация народного хозяйства – основа устойчивого развития // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов: Обзорная информация. 1995. № 2. С. 1–8
9. Вернадский В.И. Философские мысли натуралиста. М.: Наука, 1988. 520 с.
30. Мартыничев И.В. Мировоззрение естествоиспытателя. М.: Мысль, 221 с.
31.Гуляев С.А., Жуковский В.М., Комов С.В. Основы естествознания. Екатеринбург. Изд-во УралЭкоЦентр. 2000. 560 с.
32. Бабушкин А.Н. Современные концепции естествознания.СПб. Изд-в0 Лань. 2000. 208 с.
33. Югай Г.А. Общая теория жизни. М., Мысль. 1985.
34. Афанасьев ВТ. Мир живого: системность, эволюция и управление. М., 1986.
35. Афанасьев В.Т. Дарвинизм: история и современность. Л., 1988.
36. Дубинин Н.П. Очерки о генетике. М., 1985.
37. Захаров В. Б., Мамонтов С. Г., Сивоглазов В. И. Биология: общие закономерности. М.,1996.
38. Кивенко Н.В. Принципы познания живого. Киев, 1991.
39. Кузнецов В.И., Идлис Г.М., Гутина В.И. Естествознание. М., 1996.
40. Райт Р. Т. Биология сквозь призму веры. М., Мир. 1994.
41. Рьюз М. Философия биологии. М., Мир. 1997.
42. Тимофеев-Ресовский Н.В., Воронцов Н.Н., Яблоков А.В. Краткий очерк теории эволюции. М., 1969.
43. Философские проблемы естествознания. М., 1985.
44. Алексеев В.П. Становление человечества. М., 1984.
45. Анохин А.М. Философия и теоретические проблемы науки. М., 1990.
46. Комаров Ф.И., Петленко В.П., Шамов И.А. Философия и нравственная культура врачевания. Киев, 1988.
47. Мещеряков Б., Мещерякова И. Введение в человекознание. М., 1994.

СОДЕРЖАНИЕ

Глава 1. Развитие естествознания.....……3
Как человек познавал мир.....…..……8
Современное естествознание.....……25
Специфика естествознания в
системе наук…….……32
Контрольные вопросы и задания.……....38
Глава 2. Пространство и время. Энергия...…….40
Структурность и системность
материи……40
Вещество и поле…….41
Переворот в представлениях
о пространстве и времени.....……43
Два важных следствия.....……..53
Биологическое пространство и время...64
Химическое пространство и время…...66
Энергия и энтропия.....67
Закон сохранения энергии…….74
Открытые системы и
новая термодинамика…….....78
Классификация видов энергии.....83
Термодинамика и здоровье……86
Энтропия и болезни……89
Термодинамика
в общественных отношениях……....92
Контрольные вопросы и задания.....96
Глава 3. Эволюция Вселенной.....98
Возникновение галактик и звёзд.....116
Стандартная модель
эволюции Вселенной…….....119

Мировоззренческие проблемы
космологической эволюции.....123
Источник энергии звезд……128
Распространенность элементов
в космосе……133
Распространенность элементов
в Солнечной системе……...136
Происхождение планет.....139
Теории образования планет.....168
Строение Земли……174
Химический состав Земли……..182
Физические поля Земли……...189
Химическая эволюция.....191
От неживого к живому.....209
К живому через элементарные
открытые каталитические системы 224
Контрольные вопросы и задания.....231
Глава 4. Эволюция история жизни.....233
Номенклатура и
классификация организмов……..236
Молекулярно-генетический уровень...240
Онтогенетический уровень
живых систем.....……...246
Уровни организации живых систем.....249
Происхождение жизни.....252
Теории возникновения жизни.....264
Креационизм.....265
Самопроизвольное зарождение.....267
Теория стационарного состояния.....269
Теория панспермии.....270
Гипотеза случайного
зарождения жизни……271
Биохимическая эволюция.....272

Природа самых первых организмов.....275
Теория катастроф Ж. Кювье……..276
Теория эволюции.....278
Теория эволюции Ламарка.....278
Дарвин, Уоллес и происхождение видов…….....280
Доказательства естественного отбора..282
Антидарвинизм конца XIX – начала XX века……..…..285
Современные представления об эволюции..……..288
Подтверждение теории эволюции.....289
Основы генетики……....294
Генетический код……301
Контрольные вопросы и задания.....306
Глава 5. Человек как предмет естествознания..308
Происхождение человека……...308
Сущность человека…….333
Телесность и здоровье человека……337
Человек, биосфера, космос……344
Контрольные вопросы и задания…….351
Глава 6. Экологические проблемы человеческого общества……353
Характеристика и состав биосферы.....355
В.И. Вернадский о биосфере и живом веществе..……358
Биогенная миграция химических элементов и биохимические принципы.....……....362
Биосфера и человек. Ноосфера.....367
Роль человеческого фактора в развитии биосферы....……...375
Современная концепция экологии.....385

Экологические системы
и их структуры…….....386
Взаимодействие экосистемы
и окружающей ее среды……389
Энергетическая характеристика
экосистем……....393
Контрольные вопросы и задания.....398
Глава 7. Загрязнение окружающей среды
и пути его преодоления……...400
Современное состояние
географической оболочки…….. ……401
Основные типы воздействия
на природную среду……..406
Глобальные изменения на Земле……411
Тревожные антропогенные
изменения природной среды…….417
Источники загрязнения
окружающей среды…….....426
Загрязнение воздушного бассейна.....428
Аэрозольное загрязнение
атмосферы……..431
Фотохимический туман (смог)……433
Загрязнение атмосферы подвижными
источниками выбросов……435
Контроль выброса в атмосферу
загрязняющих веществ……438
Шумы……443
Парниковый эффект……....444
Загрязнение гидросферы.....…448
Реакция Мирового океана
на потепление……..451
Загрязнение поверхности Земли.....456
Рациональное использование

природных ресурсов и охрана
окружающей среды.....……..…459
Контрольные вопросы и задания.....463
Программа курса «Концепции
современного естествознания»……...465
Дополнительная литература.....467
Содержание.....470

СОДЕРЖАНИЕ

Глава 1. Развитие естествознания.....……3
Как человек познавал мир.....…..……8
Современное естествознание.....……25
Специфика естествознания в
системе наук…….……32
Контрольные вопросы и задания.……....38
Глава 2. Пространство и время. Энергия...…….40
Структурность и системность
материи……40
Вещество и поле…….41
Переворот в представлениях
о пространстве и времени.....……43
Два важных следствия.....……..53
Биологическое пространство и время...64
Химическое пространство и время…...66
Энергия и энтропия.....67
Закон сохранения энергии…….74
Открытые системы и
новая термодинамика…….....78
Классификация видов энергии.....83
Термодинамика и здоровье……86
Энтропия и болезни……89
Термодинамика
в общественных отношениях……....92
Контрольные вопросы и задания.....96
Глава 3. Эволюция Вселенной.....98
Возникновение галактик и звёзд.....116
Стандартная модель
эволюции Вселенной…….....119

Мировоззренческие проблемы
космологической эволюции.....123
Источник энергии звезд……128
Распространенность элементов
в космосе……133
Распространенность элементов
в Солнечной системе……...136
Происхождение планет.....139
Теории образования планет.....168
Строение Земли……174
Химический состав Земли……..182
Физические поля Земли……...189
Химическая эволюция.....191
От неживого к живому.....209
К живому через элементарные
открытые каталитические системы 224
Контрольные вопросы и задания.....231
Глава 4. Эволюция история жизни.....233
Номенклатура и
классификация организмов……..236
Молекулярно-генетический уровень...240
Онтогенетический уровень
живых систем.....……...246
Уровни организации живых систем.....249
Происхождение жизни.....252
Теории возникновения жизни.....264
Креационизм.....265
Самопроизвольное зарождение.....267
Теория стационарного состояния.....269
Теория панспермии.....270
Гипотеза случайного
зарождения жизни……271
Биохимическая эволюция.....272

Природа самых первых организмов.....275
Теория катастроф Ж. Кювье……..276
Теория эволюции.....278
Теория эволюции Ламарка.....278
Дарвин, Уоллес и происхождение видов…….....280
Доказательства естественного отбора..282
Антидарвинизм конца XIX – начала XX века……..…..285
Современные представления об эволюции..……..288
Подтверждение теории эволюции.....289
Основы генетики……....294
Генетический код……301
Контрольные вопросы и задания.....306
Глава 5. Человек как предмет естествознания..308
Происхождение человека……...308
Сущность человека…….333
Телесность и здоровье человека……337
Человек, биосфера, космос……344
Контрольные вопросы и задания…….351
Глава 6. Экологические проблемы человеческого общества……353
Характеристика и состав биосферы.....355
В.И. Вернадский о биосфере и живом веществе..……358
Биогенная миграция химических элементов и биохимические принципы.....……....362
Биосфера и человек. Ноосфера.....367
Роль человеческого фактора в развитии биосферы....……...375
Современная концепция экологии.....385

Экологические системы
и их структуры…….....386
Взаимодействие экосистемы
и окружающей ее среды……389
Энергетическая характеристика
экосистем……....393
Контрольные вопросы и задания.....398
Глава 7. Загрязнение окружающей среды
и пути его преодоления……...400
Современное состояние
географической оболочки…….. ……401
Основные типы воздействия
на природную среду……..406
Глобальные изменения на Земле……411
Тревожные антропогенные
изменения природной среды…….417
Источники загрязнения
окружающей среды…….....426
Загрязнение воздушного бассейна.....428
Аэрозольное загрязнение
атмосферы……..431
Фотохимический туман (смог)……433
Загрязнение атмосферы подвижными
источниками выбросов……435
Контроль выброса в атмосферу
загрязняющих веществ……438
Шумы……443
Парниковый эффект……....444
Загрязнение гидросферы.....…448
Реакция Мирового океана
на потепление……..451
Загрязнение поверхности Земли.....456
Рациональное использование

природных ресурсов и охрана
окружающей среды.....……..…459
Контрольные вопросы и задания.....463
Программа курса «Концепции
современного естествознания»……...465
Дополнительная литература.....467
Содержание.....470