**Траектория экологической мысли. На пути к современному пониманию биосферы**

Виктор Данилов-Данильян, член-корреспондент РАН, Игорь Рейф

Человек зависит от окружающей среды, но и окружающая среда зависит от человека. За время своего существования человеческая цивилизация не создала, пожалуй, ни одной технологии, которая так или иначе не разрушала бы окружающую среду. К счастью, параллельно шёл и созидательный процесс наращивания научных знаний. За последнее столетие стараниями многих исследователей человек пришёл к пониманию основных законов природы, обеспечивающих устойчивость биосферы. Но осознали ли мы до конца свою ответственность перед жизнью на Земле в целом?

**От Гумбольдта до Вернадского**

Подобно яблочному червю, подтачивающему изнутри облюбованный им плод, человек строит свою цивилизацию внутри биосферы и за счёт частичного её разрушения. При этом он лишь недавно приступил к изучению этой сложнейшей системы, хотя первые попытки целостного подхода к ней восходят ещё к знаменитому немецкому естествоиспытателю Александру Гумбольдту (1769–1859), противопоставившему мозаике независимо существующих видов Карла Линнея представление о взаимодействии организмов между собой и с ландшафтом. В заложенных им основах биогеографии климат выступает как определяющее звено ландшафта.

Тем не менее взгляды Гумбольдта на живой мир и его ландшафтное окружение как на единую систему, неотрывную от климатических факторов, во второй половине XIX века уступили место истории происхождения (филогении) как единственно заслуживающему внимания научному объяснению явлений природы. Именно историей происхождения в процессе конкурентного естественного отбора отдельных особей сумел объяснить Чарльз Дарвин линнеевское множество видов. При этом изумительная по своей логичности идея Дарвина стала не только биологической теорией, но и мировоззренческой концепцией. А в рамках её последующего развития в биологии возобладал редукционистский подход, то есть объяснение общего через частное на основе накопленного эмпирического материала. Этот подход сфокусировал внимание учёных на эволюционной судьбе отдельного вида и единичной особи, создавая инерцию «дробления» биоты. И эта тенденция, будучи возведена в абсолют, серьёзно замедлила развитие взглядов на биосферу как на единую систему.

Казалось бы, системная концепция биосферы должна была возникнуть в недрах экологии, зарождавшейся на рубеже XIX—XX веков. Однако в действительности всё сложилось иначе. И первый своим независимым путём пришёл к современной трактовке этого понятия не биолог, а минералог, основатель геохимии, выдающийся российский учёный В. И. Вернадский (1863–1945). В опубликованных в 1926 году лекциях под общим названием «Биосфера», три года спустя изданных на французском языке, он выдвинул идею целостного мира, в котором живая материя («плёнка жизни») объединена через систему биогеохимических циклов с атмосферой, гидро- и литосферой. Оболочку Земли, в которой протекают биохимические процессы, он и предложил называть биосферой.

Вернадский показал, что химическое состояние наружной коры нашей планеты находится всецело под влиянием жизни и определяется живыми организмами. В его учении о биосфере не только рассматривались основные свойства живого вещества и влияние на него косной природы, но и впервые было раскрыто грандиозное обратное воздействие жизни на абиотическую среду и формирование в результате этого процесса биокосных природных субстанций, таких, например, как почва. Впервые вся живая оболочка планеты предстала как единое, сложное, но в то же время и хрупкое образование. В итоговом обобщающем труде «Химическое строение биосферы Земли и её окружения» Вернадский писал: «На нашей планете в биосфере существует не жизнь, от окружения независимая, а живое вещество, т. е. совокупность живых организмов, теснейшим образом связанная с окружающей её средой биосферы — мощным геологическим фактором от биосферы неотделимым»1.

Он также первым высказал мысль, что «благодаря эволюции видов, непрерывно идущей и никогда не прекращающейся, меняется резко отражение живого вещества на окружающей среде. Благодаря этому процесс эволюции — изменения — переносится в природные биокосные и биогенные тела, играющие основную роль в биосфере, в почвы, в наземные и подземные воды (в моря, озёра, реки и т. д.), в угли, битумы, известняки, органогенные руды и т. п.»2.

Вместе с тем, размышляя о путях эволюции биосферы и об особом месте, занимаемом в ней человеком, Вернадский пришёл к выводу о возможности управления биосферой силой человеческого разума — «научной мыслью и государственно организованной, ею направляемой техникой...». И в этом отношении он был человеком своей эпохи, связывавшим надежды на будущее с безграничными, как тогда казалось, перспективами научно-технического прогресса: «Теоретически мы не видим предела его возможностям...»3.

**Век великих экологов**

Идеи Вернадского, далеко опередившие время, могли бы долго ещё оставаться невостребованными, если бы не стремительно развивавшаяся в те же годы экология. Эта новая отрасль знания сосредоточила внимание учёных на структуре и функционировании не отдельных организмов, а биологических комплексов. И хотя первым понятие «экология» ввёл известный немецкий естествоиспытатель Эрнст Геккель (1834–1919) для определения области биологии, изучающей взаимоотношения организмов со средой, до начала 1900-х годов этот термин почти не использовался.

Существенный вклад в становление новой науки внесли гидробиологи, что объяснимо: ведь объектом их изучения были водные организмы, которые невозможно рассматривать в отрыве от окружающей их физической среды.

Одним из первых в этом ряду был немецкий зоолог Карл Мёбиус (1825–1908). Изучая воспроизводство моллюсков на устричных отмелях Северного моря, он обосновал представление о биоценозе — внутренне связанном сообществе организмов, населяющих тот или иной однородный участок морского дна. Он отметил эволюционно сложившуюся жёсткую привязку отдельных видов не только друг к другу, но и к специфическим условиям местной среды (биотопу). Впоследствии понятие биоценоза было распространено на пресноводные и наземные сообщества — биоценоз пруда, озера; биоценоз берёзового леса и т. д.

В начале XX века вклад в исследования надорганизменного уровня внесли биологи самых разных направлений — ботаники, зоологи, гидробиологи, лесоведы. Удалось выявить некоторые общие закономерности, характерные для развития самых разных комплексов организмов (сообществ, биоценозов) в ходе взаимодействия с окружающей средой. К таковым, например, относится процесс сукцессии — закономерной стадийности развития экосистем.

Открытие сукцессии — заслуга двух американских ботаников. Первый из них, Генри Коулс (1869–1939), занимался изучением растительности на побережье озера Мичиган, которое на протяжении длительного периода мелело и отступало от берега. При этом он предположил, что возраст сообщества должен увеличиваться пропорционально удалению от кромки воды, и, таким образом, смог реконструировать ход всего процесса. Самые молодые, только что образовавшиеся дюны были заселены многолетними травами, укреплявшими своими корнями зыбучие пески. Затем на их месте появлялись злаки, вслед за ними — кустарники. А уже потом, на более старых и закреплённых дюнах, начинали расти деревья, причём в определённой последовательности: сначала сосны, через поколение сменявшиеся дубами и клёнами, и, наконец, на наибольшем удалении от берега появлялись буковые деревья — самые тенелюбивые для этой климатической зоны.

|  |  |
| --- | --- |
|

|  |
| --- |
| Изображение: «Наука и жизнь» |

 |

В 1916 году последователь Коулса Фредерик Клементс (1874–1945) опубликовал классический труд «Растительная сукцессия». Он показал способность биоценозов приспосабливаться и эволюционировать в ходе изменений окружающей среды. Причём если на начальных этапах разные сообщества одной и той же местности могут сильно отличаться друг от друга, то на более поздних стадиях они становятся всё более и более схожими. В конце концов оказывается, что для каждой области с определённым климатом и почвой характерно только одно зрелое, или так называемое климаксовое, сообщество.

А ещё десять лет спустя, в 1927 году, в Англии вышла книга английского зоолога Чарльза Элтона «Экология животных». Она способствовала переключению внимания зоологов с отдельного организма на популяцию в целом как на самостоятельную единицу. Автор книги побывал в двух арктических экспедициях, и его внимание привлекли колебания численности мелких грызунов, повторявшиеся с периодом в три-четыре года. А обработав многолетние данные о заготовке пушнины в Северной Америке, он пришёл к выводу, что зайцы и рыси также демонстрируют циклические колебания, хотя пики численности у них наблюдаются примерно раз в 10 лет. В этом ставшем классическим труде впервые описана структура и распределение сообществ животных, а кроме того, введено понятие экологической ниши и сформулировано правило экологических пирамид — последовательного уменьшения численности организмов по мере перехода от нижних трофических уровней к высшим (от растений к травоядным животным, от травоядных к хищникам и т. д.).

В 20–30-е годы ХХ века началось внедрение в экологию точных методов исследования, у истоков которых стояли американский биофизик Альфред Лотка (1880–1949) и итальянский математик Вито Вольтерра (1860–1940). В вышедшей в 1925 году книге «Элементы физической биологии» Лотка впервые предпринял попытку преобразования биологии в строго количественную науку. В частности, он разработал математические модели и расчёты межвидовых взаимодействий (например, модель, описывающую сопряжённую динамику численности хищника и жертвы), а также биогеохимических циклов. А в 1926 году Вольтерра разработал математическую модель конкуренции двух видов за один ресурс и показал невозможность их устойчивого длительного сосуществования.

Теоретические исследования, которые выполнили Лотка и Вольтерра, привлекли внимание молодого советского биолога Георгия Францевича Гаузе (1910–1986). Он предложил свою, более понятную биологам модификацию уравнений, описывающих процессы межвидовой конкуренции. Экспериментальная проверка этих моделей на лабораторных культурах бактерий и простейших показала, что сосуществование видов возможно, если они занимают разные экологические ниши. В противном случае один из конкурирующих за ту же нишу видов неизбежно вытесняется другим (закон конкурентного исключения). Работы Гаузе вошли в опубликованную в 1934 году в США книгу «Борьба за существование» (в России она увидела свет лишь семь десятилетий спустя) и внесли весомый вклад в появление концепции экосистемы.

**«Базовая единица» экологии**

Честь введения понятия «экосистема», а произошло это в 1935 году, по праву принадлежит английскому ботанику Артуру Тэнсли (1871–1955). Конечно, у него были свои достаточно авторитетные предшественники — в частности, американский гидробиолог Эдвард Бёрдж (1851–1950), изучавший в начале ХХ века на материале озёрных сообществ роль организмов в круговороте вещества и трансформации энергии, или его немецкий коллега Август Тинеманн (1882–1960), сформулировавший в 1920-е годы такие важные для экологии понятия, как биомасса и биологическая продукция. Но всё же именно 1935 год принято считать годом рождения общей экологии как самостоятельной науки. Основное достижение Тэнсли заключалось в успешной попытке интегрировать биоценоз с биотопом на уровне новой функциональной единицы — экосистемы. И если в других, ранее сформировавшихся науках, таких как физика, химия или цитология, уже давно имелись свои базовые единицы — атом, молекула, клетка, то теперь для экологии ею стала экосистема — ограниченный во времени и в пространстве единый природный комплекс, образованный живыми организмами и средой их обитания, в котором живые и косные компоненты связаны между собой обменом веществ и распределением потока энергии.

А в 1942 году, независимо от Тэнсли, российский геоботаник В. Н. Сукачёв (1880–1967) на примере лесных сообществ разработал понятие о биогеоценозе. Будучи, в принципе, аналогом экосистемы, биогеоценоз характеризуется ограниченной протяжённостью и однородностью природно-климатических условий. На суше это может быть небольшой участок ландшафта — например, приречный луг или дерево и почва под ним, соответствующая проекции его кроны. И территориально и иерархически биогеоценозы могут рассматриваться как ячейки, или «клеточки», биосферы, которая, в свою очередь, является экосистемой наивысшего иерархического уровня.

Ведущую роль в экосистемных исследованиях по-прежнему играли гидробиологи. Объект их исследований — водные организмы, зачастую обитающие в замкнутых водоёмах (пруд, озеро), — отличался особенно зримым переплетением и взаимосвязью физико-химических и биологических процессов. Так, упоминавшийся уже лимнолог Эдвард Бёрдж, изучая «дыхание озёр», с помощью строгих количественных методов установил сезонную динамику содержания растворённого в воде кислорода, зависящую не только от перемешивания водной массы и диффузии кислорода из воздуха, но и от жизнедеятельности организмов — производителей кислорода (планктонных водорослей) и его потребителей (бактерий и животных). Впоследствии эти идеи были развиты в трудах российских лимнологов Л. Л. Россолимо (1894–1977), Г. Г. Винберга (1905–1987) и других. Винберг разработал так называемый балансовый энергетический подход. Суть его состояла в том, чтобы на базе единства биохимических процессов, протекающих в самых разных организмах, — например, фотосинтеза всех планктонных водорослей в пруду или всех растений в лесу — суммировать результаты их активности по количеству образующегося при этом органического вещества и выделяющегося кислорода. Появилась возможность не только количественно оценивать биологическую продукцию лесной или водной экосистем, но и разрабатывать их математические модели, основанные на энергетическом подходе.

Три года спустя аналогичные измерения были осуществлены и в США под руководством Джорджа Хатчинсона (1903–1991), знаменитого не только собственными исследованиями — его «Курс лимнологии» (1957) и сегодня представляет самую полную в мире сводку жизни озёр, — но и активной поддержкой талантливых молодых учёных. Среди его учеников следует в первую очередь назвать очень рано, к сожалению, умершего Раймонда Линдемана (1915–1942), чья небольшая по объёму работа «Трофическо-динамические аспекты экологии», опубликованная в 1942 году, без преувеличения, сделала эпоху в экологии. На неё и сегодня ссылаются экологи во всех уголках Земли. Линдеман разработал общую схему трансформации энергии в экосистеме и изложил основные методы расчёта её энергетического баланса. Он, в частности, теоретически показал, что при переходе с одного трофического уровня на другой количество энергии уменьшается так, что организмам каждого последующего уровня оказывается доступна только небольшая, не более 10%, часть от той энергии, что была в распоряжении организмов предыдущего уровня.

С этого момента экосистемные исследования становятся одним из магистральных направлений в экологии.

**«Переоткрытие» биосферы и гипотеза «Гея»**

Шаг за шагом, усилиями сотен учёных возводила экология недостающие конструкции и осваивала необжитое пространство того здания, своды и контуры которого очертил в своих трудах Вернадский. Однако до понимания биосферы как глобальной экосистемы пока ещё не поднималась и она. Идеи Вернадского, умершего в год окончания Второй мировой войны, остались во многом недооценены современниками, и даже его итоговый труд — своего рода научное завещание — «Химическое строение биосферы Земли и её окружения» был опубликован лишь 15 лет спустя после его смерти. Потребовалось ещё не одно десятилетие, прежде чем взгляд на биосферу как на единую, целостную систему стал утверждаться в представлениях и умах учёных.

К таковым в первую очередь надлежит отнести замечательного российского биолога Н. В. Тимофеева-Ресовского (1900–1981). В предвоенное десятилетие, в период жизни и работы в Германии, он прославился исследованиями в области радиационной генетики и выполненной совместно со своим аспирантом, будущим нобелевским лауреатом М. Дельбрюком работой по определению размеров гена. В последние свои годы Тимофеев-Ресовский сосредоточился на вопросах глобальной экологии и во многом предвосхитил понимание целого ряда только ещё вырисовывавшихся тогда проблем.

Так, выступая в 1968 году с докладом «Биосфера и человечество» на заседании отделения Географического общества г. Обнинска, где он поселился после освобождения из ГУЛАГа (в ту пору столичные и областные города были для него закрыты), он сравнил биосферу с гигантской живой фабрикой, преобразующей энергию и вещества на поверхности нашей планеты. Биосфера «формирует и равновесный состав атмосферы, и состав растворов в природных водах, а через атмосферу — энергетику нашей планеты. Она же влияет на климат»4.

Доклад этот в виде статьи напечатан в сборнике научных трудов Обнинского отделения Географического общества, но в силу специфики этого периферийного издания прочитан был лишь немногими, а по-настоящему оценить новаторские идеи учёного смогли, быть может, единицы. И, как это нередко бывало с российскими первопроходцами, доклад и статья прошли почти незамеченными. Как, впрочем, не хотела замечать в те годы опального учёного и Академия наук СССР. А ведь, по сути, Тимофеев-Ресовский, развивая идеи Вернадского, одним из первых высказал важную мысль о том, что управление биосферой осуществляется самой жизнью.

К сожалению, пребывание по ту сторону «железного занавеса» зачастую ставило российских учёных в весьма невыгодное положение, и высказанные Тимофеевым-Ресовским идеи фактически остались вне поля зрения мировой научной мысли. Зато необычайный интерес в широких научных кругах вызвала выдвинутая в 1970-х годах английским учёным Джеймсом Лавлоком (р. 1919) биосферная концепция Гея (по имени эллинской богини Земли).

Инженер по образованию, Лавлок работал в НАСА, где занимался разработкой приборов по обнаружению жизни на других планетах (в связи с предстоящими полётами автоматических станций к Марсу и Венере). А ещё раньше, в студенческие годы, он создал уникальный газовый спектрофотометр для измерения сверхмалых концентраций газов в атмосфере. Впоследствии именно с помощью этого прибора удалось обнаружить накопление хлорфторуглеродов, разрушающих озоновый слой Земли. Вот эта профессиональная деятельность и навела автора на мысль, что наличие жизни на планете можно в принципе обнаружить по составу её атмосферы, как наиболее чувствительной к любым биогеохимическим изменениям среды. Причём атмосфера «живых» планет, как предположил Лавлок, должна отличаться термодинамической неравновесностью, поддерживаемой благодаря активности жизни. В то время как у «неживых» планет состав атмосферы находится в равновесии с их средним химическим составом.

Образ Геи, по Лавлоку, возникает при мысленном взгляде на нашу планету из космоса, которая представляется как многоуровневая живая организация, как «суперорганизм», обладающий саморегуляторными «геофизиологическими» свойствами и поддерживающий параметры планетной среды на благоприятном для жизни уровне. При этом эволюция земной биоты настолько тесно связана с эволюцией её физического окружения, что вместе они образуют единую саморазвивающуюся систему, отчасти напоминающую по своим свойствам физиологию живого организма.

Особое внимание в своих построениях Лавлок уделяет бактериальному сообществу Земли. Бактерии на протяжении примерно двух миллиардов лет были единственной формой жизни на Земле и, как катализаторы биогеохимических циклов, сформировали биосферу. Они и сегодня остаются основой биогеохимической машины планеты. Но если царившее когда-то древнее бактериальное сообщество прокариот, покрывавших поверхность Земли в виде тонкой плёнки, было в некотором роде монопольной биогеосферной силой, то в дальнейшем, в ходе эволюции, его автокаталитические единицы «перекочевали» в состав более сложных организмов. Они образовали в ядерных клетках специализированные органеллы — митохондрии и хлоропласты. Управление «физиологическими» процессами Геи (процессами восстановления и окисления, соединения кислорода с углеродом и т. д.) осуществляется как прямыми наследниками безъядерных одноклеточных, например бактериями почвы, так и их потомками в ядерных клетках — митохондриями (окислители) и хлоропластами (восстановители). И этот каталитический гиперцикл, по терминологии нобелевского лауреата Манфреда Эйгена, как бы связывает мельчайшие живые организмы с планетарной макросистемой в плане поддержания климатических и биогеохимических параметров её среды.

Нетрудно заметить черты явного сходства Геи с современной трактовкой биосферы в русле идей Вернадского, о работах которого Лавлок узнал только в 1980-х годах (из-за отсутствия полноценных переводов «Биосферы» на английский язык, а также, по его собственному признанию, в силу «глухости» англоязычных авторов к другим языкам). Однако есть и отличия. Во-первых, Гея, вообще говоря, не биосфера, а Земля в целом. Лавлок прибегает к образному сравнению Геи с поперечным срезом старого дерева, где живая часть (биосфера) — лишь тонкий слой камбия под корой, а основная по массе неживая древесина — продукт многолетней деятельности этого слоя. Второе же — это нехарактерное для Вернадского скептическое отношение к возможности покорения человеком природы и подчинения её своим интересам.

Но можно ли вообще считать концепцию Геи, которую сам Лавлок предпочитает называть гипотезой, в подлинном смысле слова научной? И есть ли в ней помимо грандиозных по смелости идей и философской подкладки более строгая научная составляющая? Некоторые из «геофизиологических» гипотез Лавлока получили научно-экспериментальное подтверждение. Так, в 1981 году он высказал предположение, что глобальный климат стабилизируется путём саморегуляции цикла двуокиси углерода через биогенное усиление процесса выветривания горных пород. Результаты исследований Д. Шварцмана и Т. Фолька, опубликованные в 1989 году в журнале «Nature», подтвердили, что микроорганизмы вместе с грибами и растениями, попадая на выветриваемую породу, способны в десятки и сотни раз ускорять процесс химического выветривания. Растворённая в дождевых и грунтовых водах двуокись углерода в форме бикарбонатных ионов выносится с речным стоком в Мировой океан. Там неорганический углерод используется зоо- и фитопланктоном для построения скелетов этих организмов, а после их отмирания выводится из оборота и накапливается в осадочных меловых отложениях. Свой вклад в этот процесс вносят и океанические водоросли, связывающие в ходе фотосинтеза атмосферную двуокись углерода.

Можно привести и другие примеры доказанных на сегодняшний день циклически замкнутых причинных цепочек, являющихся характерной чертой геофизиологии. Хуже, однако, обстоит дело с центральным постулатом Лавлока, с его идеей Геи как глобально скореллированного суперорганизма, которая подверглась в своё время жёсткой критике со стороны многих известных эволюционистов. Дело в том, что эволюция биосферы в рамках концепции Геи интерпретируется как её индивидуальное развитие (эпигенез) и совершенствование саморегуляторных свойств. Однако с точки зрения традиционной науки такие жёстко скоррелированные системы высочайшей сложности со временем неизбежно деградируют и распадаются. Живые организмы также отличает высочайшая сложность организации. Но для поддержания этой сложности и упорядоченности в природе используется механизм конкурентного взаимодействия особей, в результате которого в потомстве воспроизводятся только те из них, которые сохранили эту внутреннюю упорядоченность.

Однако Гея существует в единственном числе и, следовательно, воспроизводиться она не может, как невозможен, по замечанию британского эколога Ричарда Докинза, естественный отбор наиболее приспособленной из планет. А следовательно, не может идти речи и о сколько-нибудь длительном сохранении способности Геи к саморегулированию, если только не мыслить за ней упорядочивающей воли Творца. Или же (по ироническому замечанию канадского учёного Форда Дулитла) — комитета биологических видов, ежегодно собирающегося с целью договориться о климате и химическом составе планеты на следующий год. Противопоставить что-либо этой критике Лавлок не сумел, что в итоге способствовало дискредитации идеи формирования благоприятной для жизни среды средствами самой жизни.

**Биосфера как «рынок» биотехнологий**

Идеи Лавлока оказали, бесспорно, революционизирующее влияние на умы, хотя сама его концепция была встречена академической наукой весьма скептически.

Дальнейшее развитие проблема поддержания устойчивости жизни на Земле получила в трудах представителя российской экологической школы, петербургского биофизика В. Г. Горшкова. Его теория, окончательно оформившаяся к середине 1990-х годов, была названа теорией биотической регуляции окружающей среды. Причём предложенный им научный подход в корне отличался от подхода Лавлока.

Прежде всего, исследуя механизмы биогеохимического кругооборота, Горшков как бы поменял местами причины и следствия, отведя центральное место круговороту вещества и энергии на уровне отдельно взятых биотических сообществ, и в первую очередь — биогеоценозов, этих, по выражению Тимофеева-Ресовского, «элементарных единиц» биосферы.

Как известно, каждое такое сообщество основано на тесном взаимодействии и тонкой согласованности всех входящих в него видов — растений, грибов, микроорганизмов, мелких беспозвоночных, — встроенных в сложные трофические цепочки, по которым циркулируют энергия и необходимые для их жизнедеятельности химические вещества. Именно эта жёсткая скоррелированность видов внутри сообщества — при отсутствии межвидовой конкуренции и почти полной замкнутости круговорота веществ — позволяет ему поддерживать паритет синтеза и разложения органического вещества, при котором практически не возникает отходов. А в случае того или иного возмущения окружающей среды — температурно-климатических перепадов, вулканических выбросов, изменения концентрации биогенных веществ и т. д. — сообщество реагирует такой перестройкой протекающих в нём обменных процессов, которая позволяет компенсировать неблагоприятные физико-химические изменения среды и способствует её возвращению в невозмущённое состояние (аналогично действию принципа Ле Шателье для термодинамически устойчивых неживых систем).

**Хрупкое равновесие биосферы**

Понятие погоды уже давно стало в нашем сознании нарицательным, как синоним чего-то ненадёжного, неустойчивого, зыбкого. Увы, то же самое можно, в принципе, отнести и к земному климату, хотя люди только недавно начали это осознавать и задумываться над тем, что же всё-таки обеспечивает климату относительную стабильность и пригодность для разнообразных форм жизни. В самом деле, как показывают радиоизотопные исследования осадочных отложений и горных пород, средняя приземная температура нашей планеты на протяжении последних 600 млн лет колебалась в интервале примерно 20°С, опускаясь в ледниковые периоды до +5°С и поднимаясь во время максимальных потеплений до +25°С. А современная среднеглобальная температура +15°С сохраняется уже много столетий с колебаниями, не превышающими десятых долей градуса. И это, между прочим, наиболее благоприятная температура для подавляющего большинства наземных биологических видов.

Но что же способствует поддержанию такой благоприятной для всего живого температуры на фоне всех тех катаклизмов — астероидных атак, грандиозных оледенений, всплесков вулканической активности, подвижек и разломов земной коры и пр., — что перенесла за свою долгую историю Земля? И что мешает нашей планете охладиться до минусовых температур, как у ближайшего соседа по солнечной системе Марса с его оледеневшей и смёрзшейся поверхностью, или разогреться под действием парникового эффекта до +400°С, как у Венеры с её полностью испарившейся влагой. Ведь с точки зрения существующих законов природы только два этих состояния и можно признать по-настоящему устойчивыми, или, как говорят, физически выделенными.

Некоторые из причин лежат, так сказать, на поверхности и хорошо известны современной науке. Это, прежде всего, стабильность солнечного излучения и постоянство достигающей Земли его световой энергии — порядка 1360 Дж/м. Это мощная океаническая и воздушная прослойка, служащая аккумулятором тепла на планете. Это перемешивание воздушных масс в нижних слоях атмосферы и мощные океанические течения — от экватора к полюсам и обратно, сглаживающие температурные экстремумы на разных земных широтах, и т. д. И всё же для объяснения отмеченной выше температурно-климатической устойчивости этих чисто физических факторов, по-видимому, недостаточно. И учёные всё больше склоняются к мысли, что важнейшим гарантом жизни на Земле является сама жизнь, то есть населяющая её биота. И что именно живая биота препятствует деградации окружающей среды до непригодного для жизни состояния, что в полной мере относится и к её климатической составляющей.

|  |  |
| --- | --- |
|

|  |
| --- |
|  |

 |

В научно-популярной литературе неустойчивость температурно-климатического баланса Земли нередко сравнивают с шариком, находящимся на вершине остроконечной пирамиды, символизирующей благоприятные для жизни климатические параметры. Какое-то время шарик может удерживаться в этом шатком положении, но достаточно даже незначительного внешнего воздействия, чтобы шарик, потеряв равновесие, скатился к основанию пирамиды. Вот это положение шарика у основания пирамиды и является для него по-настоящему устойчивым, то есть физически выделенным. А если вырезать на вершине пирамиды ямку по форме шарика? Тогда мы создадим для него ещё одно физически выделенное положение, в котором он сможет находиться неопределённо долгое время. Нечто подобное имеет место и в случае с земным климатом. Только эту «ямку устойчивости» на вершине кривой создаёт для него сама биота, обеспечивающая ему уже не физически, а биотически выделенную стабильность.

(По материалам сайта Биотическая регуляция)

Так, при избытке в атмосферном воздухе углекислого газа усиливается органический синтез и малоактивные формы органического углерода «консервируются» в почвенном гумусе и торфяниках. Недостаток углекислого газа восполняется за счёт разложения ранее созданных запасов органики. Собственно, в этом — в изменении соотношения между синтезом органического вещества и его деструкцией — и состоит основной инструмент воздействия биоты на окружающую среду на уровне как отдельных экосистем, так и биосферы в целом.

Однако всё сказанное справедливо лишь в отношении полноценных, ненарушенных природных сообществ. В искусственно сформированных сообществах, например агроценозах, где разомкнутость круговорота веществ достигает десятков процентов, растения не могут нормально развиваться без внесения в почву органических и минеральных удобрений. А так называемые синантропные виды — воробьи, домовые мыши и др., приспособившиеся к существованию за счёт человека, уже неспособны вернуться к своему естественному состоянию в силу изменённой генетической программы.

Природные виды также подвержены наследственным мутациям. А это с неизбежностью сказывается на способности включающего их сообщества к поддержанию замкнутого круговорота веществ. Но такие мутантные сообщества в силу их экологической несостоятельности постепенно вытесняются из экосистемы, освобождая место своим более успешным соседям. И хотя биосфера и здесь мыслится как единое целое, отпадает надобность в идее суперорганизма, а залогом сохранения стабильности окружающей среды выступает естественный отбор, закрепляющий в потомстве видовой и генетический состав наиболее адекватных в экологическом плане сообществ.

То есть природа, по Горшкову, «наводит порядок», работая с бесконечным множеством независимых операционных единиц, минимизируя тем самым случайные флуктуации, угрожающие существованию любой сложно организованной системы. И в этом смысле биосферу можно сравнить со свободным рынком, где взамен товаров и промышленных технологий конкурируют биотехнологии. Так что, видимо, неслучайно человечество в своём развитии пришло к тому же универсальному принципу оптимизации сверхсложных систем, что на протяжении миллионов лет был апробирован самой природой.

 Конечно, огромная роль биоты в формировании и обеспечении стабильности окружающей среды, особенно на локальном уровне, в общем, была известна и до Горшкова. Но он, в рамках своей теории, глобализировал эту роль, придал ей новый статус, поместив природные экосистемы в центр всей экологической проблематики. И тому есть немало оснований.

Все наслышаны о спорах, что ведутся сейчас вокруг проблемы климатического потепления и вклада в этот процесс антропогенного CO2, выделяющегося при сжигании ископаемого органического топлива. Казалось бы, биота, реагируя на подобное возмущение окружающей среды в соответствии с приципом Ле Шателье, должна была бы поглощать избыточную двуокись углерода в атмосфере. Но этого, увы, не происходит. И, как показывает глобальный анализ землепользования, на освоенных человеком территориях количество органического углерода в нарушенных экосистемах не только не растёт, но, напротив, уменьшается, что приводит к его массивному выбросу в атмосферу. Причём скорость этой эмиссии сопоставима со скоростью выбросов ископаемого углерода в результате сжигания ископаемого топлива. А исследование пузырьков воздуха в ледяных кернах Антарктиды показывает, что рост концентрации атмосферного CO2 начался задолго до широкомасштабного применения угля, нефти и газа и совпал с промышленной революцией конца XVIII столетия. То есть опять-таки причиной здесь послужила эмиссия углерода, вызванная интенсивным освоением новых земель и дальнейшим наступлением человека на девственную природу. С этого момента и до конца XIX века сохранение устойчивости биосферы обеспечивалось главным образом экосистемами Мирового океана, компенсаторный потенциал которых достиг критической отметки к концу XIX века, после чего начался процесс глобального изменения окружающей среды.

На сегодняшний день, как показывают расчёты, примерно половина неорганического углерода, образующегося при сжигании ископаемого топлива, абсорбируется океаном в результате физико-химических процессов и ещё около 1/5 поглощается океанской биотой и сохранившимися экосистемами суши; остальное накапливается в атмосфере. Однако ещё более мощным источником эмиссии углерода служит освоенная человеком часть суши. Считается, что вся эта эмиссия полностью поглощается ненарушенными или слабовозмущёнными экосистемами суши и Мирового океана. Таким образом, поступление в биосферу углерода вследствие сжигания ископаемого топлива накладывается на этот источник, который сохранится даже на фоне полного прекращения использования угля и нефти. А в случае если человечеством будут полностью освоены природные экосистемы суши и океана, поток углерода в атмосферу возрастёт почти на порядок, так что даже отказ от использования органических видов топлива не переломит катастрофической ситуации.

Глобальные потоки углерода и состояние биосферы.

Заштрихованные области — освоенная человеком биота; незаштрихованные — неосвоенная, девственная биота. Цифры обозначают чистую первичную (растительную) продукцию в процентах от всей продукции биосферы. Цифры на стрелках — потоки углерода (гигатонн в год). Изображение: «Наука и жизнь»

С другой стороны, как видно из той же диаграммы, для того чтобы приостановить накопление атмосферного CO2 при нынешних объёмах сжигания ископаемого топлива, то есть законсервировать на какое-то время нынешнее состояние биосферы, человечеству понадобилось бы освободить под естественные экосистемы примерно 7% освоенных им территорий. Практически это было бы равносильно отказу от эксплуатации 40% вовлечённых в хозяйственную деятельность лесов. Такова, по-видимому, цена того «тайм-аута», который человечество могло бы взять у природы в обмен на время, необходимое для решения демографической, энергетической и других экологически значимых проблем.

Теория биотической регуляции не только представляет академический интерес, но имеет непосредственное отношение к выбору стратегии устойчивого развития. И, прежде всего, она меняет приоритеты. Если до сих пор в центре внимания мировой общественности находилась борьба с загрязнениями окружающей среды, то теперь пальма первенства должна быть отдана проблеме сохранения и возрождения природных экосистем, разрушенных человеком. Это диктуется не только его собственными интересами, но и заботой о выживании огромного большинства обитающих на Земле видов.

Когда в конце 1920-х годов Вернадский пришёл к идее биосферы как единого, целостного образования, формирующего облик нашей планеты, а вскоре за тем Тэнсли ввёл ключевое для экологии понятие экосистемы, мир представлялся большинству людей открытым и почти безграничным, в котором человек может действовать как ему заблагорассудится, приспосабливая и перекраивая его под свои нужды. А то, чем занимались учёные-экологи за стенами лабораторий, казалось бесконечно далёким от повседневных людских забот и дел. И понадобился почти век, чтобы эта связь стала очевидной, а термины «биосфера» и «экосистема» вошли в наш обиход наравне с такими понятиями, как, например, субсидия или приватизация. И всё же путь до конца ещё не пройден. Потому что между осознанием зависимости человека от современной ему окружающей среды и пониманием всей опасности её деградации в перспективе на будущее (о чём предупреждают экологи) «дистанция огромного размера». Но пройти его необходимо — чтобы это будущее вообще состоялось.

**Список литературы**

1 Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и её окружения. — М.: Наука, 1987, с. 269.

2 Вернадский В. И. Философские мысли натуралиста. — М.: Наука, 1988, с. 27.

3 Там же, с. 34

4 Тюрюканов А. Н., Фёдоров В. М. Н.В.Тимофеев-Ресовский: биосферные раздумья. — М.: РАЕН, 1996, с. 59–60.

«Наука и жизнь» №3, 2010