

## ЭВОЛЮЦИЯ БИОСФЕРЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

Доклад академика  
С. С. ШВАРЦА



Взаимоотношения человека с породившей его природой, взаимоотношения биосферы со сферой разума и труда — ноосферой — становятся одной из наиболее важных и трудно разрешимых проблем человечества. Возникающие на этой почве конфликты, совокупность которых нередко воспринимается как глобальный экологический кризис, бесчисленны и многообразны. Но при ближайшем рассмотрении оказывается, что большинство из них имеют общую основу, суть которой в противоречивом взаимодействии двух способных к саморегуляции систем — биосферы и человеческого общества.

Экологический кризис заключается не в том, что в результате непродуманных действий человека гибнут биологические природные ресурсы, а в том, что подрывается способность природных комплексов к саморегуляции или система саморегуляции начинает «работать» против человека

и человечества. Возникновение социалистического общества создает объективные предпосылки к возникновению принципиально нового, гармоничного единства. Реализация этих предпосылок должна быть основана на познании законов развития биосферы. Основопологающие идеи в этой области были сформулированы В. И. Вернадским и В. Н. Сукачевым.

Длительное время эволюция рассматривалась почти исключительно как развитие организмов, как поток филогенезов. Сейчас, однако, стало ясно, что эволюция организмов и эволюция биосферы — взаимосвязанные процессы. Структура и функция биосферы не остаются постоянными, они изменяются по мере изменения морфофизиологических свойств организмов. При этом основные свойства живого и биосферы в целом остаются практически неизменными более 3 млрд лет. Единство наследственного

кода всех земных организмов, общий принцип трансформации энергии служат тому хорошо известной иллюстрацией. Принципиальная структура элементарных сообществ, способных к саморегуляции и развитию, также в полной мере дает себя знать уже на заре жизни.

Фотосинтезирующие растения — продуценты, создающие первичное органическое вещество; животные — консументы, питающиеся растениями и другими животными; бактерии — редуценты, деструкторы. Эта схема известна сейчас всем. Известно также, что деятельность бактерий, переводящих органическое вещество в доступную для растений форму, — столь же необходимая часть естественного цикла Земли, как и процесс фотосинтеза. Очевидно, что процессы созидания, накопления и распада органического вещества уже на заре жизни должны были быть определенным образом согласованы, обеспечивая непрерывность круговорота вещества и энергии. Однако важнейшая особенность «работы» биосферы — существенное превышение продукционных процессов над деструкционными, созидания над распадом. Благодаря этому в атмосфере Земли появился кислород, а в ее недрах — горючие ископаемые. Эта закономерность должна была проявляться с полной силой уже на первых этапах развития жизни, так как к появлению многоклеточных (680 млн лет назад) содержание кислорода в атмосфере достигло 10% современного. В результате создался озоновый экран, защитивший живые системы от повреждающего действия УФ-радиации, что в свою очередь усилило приток кислорода в атмосферу. Важнейшая предпосылка неограниченного морфофизиологического прогресса была создана одноклеточными организмами в процессе их эволюции. В дальнейшем атмосферный гомеостаз — поддержание жизнью оптимальных для ее собственного развития физико-химических условий — становится законом эволюции биосферы. Около 50 млн лет назад в атмосфере установилась современная концентрация кислорода и создалась строгая сбалансированность круговорота кислорода с круговоротом углерода. Таким путем была достигнута динамическая стабилизация биосферы как высшего уровня интеграции живой материи. Это обстоятельство должно быть подчеркнуто особо. Нам важно знать, с какой биосферой столкнулось человечество, выйдя на планетарный рубеж своего развития. Сотни миллионов лет поддерживала биосфера оптимальное соотношение важнейших для жизни элементов в атмосфере. Несколько десятков лет промышленной революции оказалось достаточно, чтобы его нарушить. Мне кажется, что один этот факт говорит о проблеме «Человек и биосфера» больше тысячи примеров локальных экологических конфронтаций.

Триада — продуценты, консументы, редуценты — лежит в основе любых растительно-животных сообществ, любых биогеоценозов. Однако в зависимости от конкретных экологических и морфофизиологических особенностей слагающих эти триады видов характер работы биоценоза изменяется. Лишь в качестве иллюстрации сравним три группы травоядных животных — консументов первого порядка: насекомых, мелких грызунов, копытных.

Крупные травоядные млекопитающие потребляют 30—60% первичной продукции биогеоценоза, насекомые и грызуны — редко более 10%. Однако грызуны ассимилируют свыше 80% потребленной энергии, крупные травоядные — не более 6%, насекомые — 30%. Но насекомые используют на построение биомассы своего тела до 30% ассимилированной энергии, млекопитающие, как правило, — не более 2%. Поэтому продуктивность насекомых может на порядок величин превосходить максимальную продуктивность млекопитающих. Но и насекомые не способны превратить в собственную биомассу более 5% биомассы растений (млекопитающие — 0,7%).

Естественно, что подобные различия экологической физиологии разных групп одного трофического уровня определяют характер работы биогеоценоза в целом. Становится очевидным, что появление в процессе эволюции организмов, характеризующихся принципиально новым типом взаимоотношений со средой (рыбы, насекомые, рептилии, травянистые растения и т. п.), имело следствием преобразование структуры биосферы и ее функции.

Было бы крайне заманчиво внимательно проанализировать глобальные следствия появления новых групп организмов, знаменующих собой становление ароморфозов принципиального значения. Сделать это по понятным причинам невозможно. Ограничимся поэтому глобальными следствиями появления гомотермных (теплокровных) животных.

Возникновение гомотермных животных в истории биосферы по своему значению соизмеримо с возникновением человечества. Способность животного поддерживать постоянно температуру тела в громадном диапазоне внешних условий послужила предпосылкой неограниченного морфофизиологического прогресса, который с неизбежностью закона привел к появлению мыслящих существ — людей (с точки зрения эколога, разум — это всего лишь высшая способность целесообразно реагировать на изменение внешних условий).

Необходимость сохранять обмен веществ на постоянно высоком уровне сделала необходимой трату большей части энергии не на построение тканей собственного тела, а на поддержание оптимального физиологического состояния. Льву весом 200 кг требуется в 6—7 раз больше корма, чем крокодилу такого же веса. Мелкие млекопитающие и птицы более 95% энергии расходуют на поддержание постоянной температуры тела. Эти, казалось бы, частные физиологические особенности млекопитающих и птиц произвели революцию в структуре биосферы.

Скорость трансформации энергии в сообществах многократно повысилась, но экологическая эффективность биоценозов резко снизилась. В древних ценозах биомасса растений лишь в 4—5 раз превышала биомассу животных и не менее 15% продукции нижних уровней цепей питания переходило в верхние. В сообществах нового типа биомасса растений в десятки и сотни (иногда тысячи) раз больше биомассы животных, а коэффициент эффективности сообщества не превышает 2—3%, но скорость трансформации вещества и энергии повысилась в десятки раз.

Вместе с тем появление гомотермных животных способствовало установлению прямых биологических каналов между биогеоценозами разных регионов Земли, спаяло биосферу в единое целое. Можно было бы привести конкретные примеры, показывающие, что экологические события, развертывающиеся в Арктике, в значительной мере определяют ход важнейших биоценологических процессов в тропиках.

Млекопитающие стали мощными катализаторами биоценологических процессов. Превращая громадное количество сырой растительной массы в легко усваиваемые растениями вещества, высшие позвоночные создали предпосылки к развитию почв высокого плодородия. В это же время начался расцвет высших насекомых — опылителей цветковых растений. Это привело к интенсификации биохимической эволюции растений, созданию форм, отличающихся повышенным содержанием белков и липоидных веществ, что в свою очередь содействовало повышению почвенного плодородия.

Заслуживает внимания тот факт, что в результате синэволюции высших позвоночных, высших насекомых и наиболее прогрессивных групп растений на Земле возникли степи и прерии, возникли почвы, отличающиеся высшим плодородием.

Каждый шаг в развитии жизни создавал предпосылки к ее дальнейшему развитию. Прогрессивные группы животных и растений создали условия для возникновения человека и становления человечества. Идеи В. И. Вернадского и В. Н. Сукачева о жизни как ведущей силе планетарного развития получают в современных исследованиях углубленную разработку.

Человек вступил на арену жизни в тот момент, когда биосфера приобрела свойства единой системы биологической интеграции высшего уровня, способной к высшей биологической продуктивности и высшей стабильности.

Что же представляет собой биосфера сегодня?



Ежегодная продукция живого вещества оценивается в 380 млрд т. При этом из воздуха извлекается более 300 млрд т  $\text{CO}_2$ , из почвы — 5 млрд т азота и 10—15 млрд т других элементов минерального питания растений. Содержание воды в тканях живых организмов примерно в 5 раз превышает содержание воды во всех реках земного шара. Эти и аналогичные им показатели масштаба производимой биосферой работы сейчас хорошо известны, и дальнейшие примеры были бы излишни. Мне хотелось бы лишь сделать их более наглядными.

Вековой дуб или граб имеет в своем арсенале около 500 тыс. листьев (общей площадью около  $1000 \text{ м}^2$ ), фотосинтезирующая внутренняя поверхность которых перерабатывает в час около 2000 г  $\text{CO}_2$  и, используя около 5000 кал солнечной энергии, создает 1200—1300 г глюкозы. Эти цифры становятся зримыми при сопоставлении их с данными, характеризующими потребность человека в кислороде и пище. Точные расчеты показывают, что человек потребляет в год не более 1% чистой продукции биосферы (не считая горючих ископаемых, накопленных биосферой прошлых веков), и не менее точные расчеты говорят о том, что  $25 \text{ м}^2$  фотосинтезирующей поверхности листьев за один солнечный день дают столько  $\text{O}_2$ , сколько нужно одному человеку в сутки. Однако загрязнение атмосферы промышленными газами снижает энергию фотосинтеза на порядок величин.

Становится ясным, что экологические конфронтации возникают не вследствие высоких потребностей человека, а потому, что эти потребности удовлетворяются без учета структуры и функции биосферы. Мы знаем, что элементарные единицы структуры биосферы — это трофические уровни, обеспечивающие трансформацию вещества и энергии. Однако мы знаем также, что любой из этих уровней представлен сотнями тысяч видов, каждый из которых биологически уникален. В дни юбилея нашей Академии уместно напомнить важнейший теоретический вывод, сформулированный одним из выдающихся ее членов — академиком А. А. Ухтомским: «Среда, физически одинаковая, физиологически различна для обитающих в ней животных видов, различна прежде всего по образу рецепции в ней». Сходная экологическая работа, выполняемая тысячами биологически уникальных видов, представленных в свою очередь миллионами и миллиардами особей, каждая из которых биологически специфична, и создает удивительную «помехоустойчивость» биосферы, дающую ей возможность поддерживать оптимальные для своего развития условия среды в течение многих миллионов лет, несмотря на резкие изменения климата и орографии, включая горообразование и движение материков.

И этот вывод хочется сделать более зримым, осязаемым. Общее число насекомых на Земле —  $10^{18}$ , птиц —  $10^9$ . На каждого человека одних только комаров и мух приходится не менее 200 млн особей, представляющих тыся-

чи видов. И в наше время отдельные кулиги саранчи весят десятки тысяч тонн. В общей экономике природы птицы играют всего лишь в 2—3 раза меньшую роль, чем человечество. Аналогичные расчеты применительно к млекопитающим и некоторым группам беспозвоночных дают астрономические величины. Становится понятным, что первая линия обороны биосферы от возможных нарушений ее развития заключается, как говорят экологи, в организованной разнородности.

Не менее существенна и вторая линия — иерархичность структурных уровней живого. Учение об уровнях приобрело сейчас большую известность, и мы не стали бы задерживать на нем внимания, если бы энергетический подход к проблеме не вывел нас к новой постановке вопроса.

Используя разнообразные литературные источники, а также материалы, накопленные в нашей лаборатории, мы попытались построить грубую схему, характеризующую эффективность использования энергии на разных уровнях интеграции жизни (в %):

Элементарные физиологические функции	до 70—80
Комплексные физиологические функции и работа организма в целом	15—50
Использование энергии организмов на рост, размножение, развитие	1,5—15
Использование энергии популяций организмов на рост, размножение, развитие	0,5—7
Использование энергии сообществом фотосинтетиков	0,1—2
Использование энергии солнечного излучения высшими трофическими звеньями	0,01—1
Использование солнечной энергии для продуцирования новых тканей животных	0,0002—0,05

При построении схемы мы вынуждены были основываться на весьма неточных данных. К тому же организмы, относимые к отдельным трофическим уровням, с обсуждаемой точки зрения существенно различны. Тем не менее используемый нами материал делает совершенно очевидной важную тенденцию в энергетике живых систем: с повышением уровня биологической интеграции эффективность использования энергии падает.

Эти цифры заслуживали бы всестороннего анализа, но ограничимся одним лишь вопросом, который поставим в не совсем привычной для научных докладов форме: почему природа сумела создать столь сверхсовершенный инструмент, как человеческий мозг, но удовлетворилась созданием сообществ, работающих с ничтожным к.п.д.? Ответ напрашивается сам собой: соотношение эффективности использования энергии на разных уровнях интеграции жизни гарантирует сохранение ее первоосновы — способных к репродукции организмов. Чтобы ни случилось на верхних этажах природы, какие бы катаклизмы ни потрясли биосферу и составляющие ее биогеоценозы, высшая эффективность использования энергии на уровне клеток и тканей гарантирует жизнь организмам, которые и восстановят структуру жизни на всех этажах ее проявления в форме, наиболее соответствующей новым условиям среды.

Нам остается отметить, что возможность и необходимость как морфофизиологического прогресса, так и совершенствования механизмов стабилизации биосферы заложены в самой основе развития жизни. Этот интереснейший вопрос мы имеем возможность осветить лишь в самых основных чертах.

Наиболее общий закон развития организмов — их неразрывная связь с внешней средой. Чем точнее реагирует животное на изменения внешней

среды, тем выше его шансы в борьбе за жизнь. Отсюда неизбежное совершенствование центрального органа связи со средой — мозга, минимальные размеры которого определяются минимальным числом молекул и атомов, необходимых для поддержания внутримозговых связей (по крайней мере, сотни миллионов). Увеличение мозга — абсолютно полезное приспособление. Но увеличение мозга требует увеличения размеров органов, обеспечивающих его питанием. Отсюда увеличение размеров тела, отсюда морфофизиологический прогресс, который в конечном итоге привел к человеку.

Но морфофизиологический прогресс и увеличение размеров тела с неизбежностью закона приводят к снижению численности организмов, упрощению их популяций. А упрощение популяций с неизбежностью приводит к повышению биологической уязвимости организмов. Вот почему победителями в жизненной борьбе оказались не только высшие животные и растения, но и многочисленные группы низших организмов, характеризующихся громадной численностью и сложной популяционной структурой. Сочетания в едином биогеоценозе организмов с принципиально различным типом освоения среды гарантирует стабильность экологических систем и биосферы в целом.

Список обвинений против «технически вооруженных варваров» (отнюдь не самый сильный эпитет в адрес современной техники) практически необозрим. Промышленность загрязняет атмосферу, почву и воды опасными для всего живого веществами, нарушает сложившийся на отдельных участках арены жизни тепловой баланс, увеличивает содержание в атмосфере  $\text{CO}_2$ , угрожает целостности озонового экрана, изымает из биологического круговорота все большие и большие территории (не менее нескольких тысяч гектаров в день), изменяет отражательную способность земной поверхности и способствует развитию пустынного климата. Список этот можно продолжать до бесконечности. Все эти нарушения современное индустриальное общество действительно вносит в биосферу и, главное, не может не вносить. Прогресс человеческого общества требует развития индустрии, и сквозящая во многих статьях в защиту природы (как будто в охране нуждается природа, а не мы, люди) технофобия нередко оборачивается безразличием к судьбе людей. Однако если исключить из нашего списка (или аналогичного более детального и длинного) нарушения, связанные не с технической стратегией современного общества, а с ошибками в технической политике и технической практике, то список этот оказывается и более коротким и более содержательным.

В дикой природе продукционные процессы преобладали над деструкционными, экологические системы усложнялись, становились все более эффективными и стабильными; степень разнородности в пределах отдельных биогеоценозов и степень разнородности биогеоценотического покрова Земли непрерывно увеличивались (вспомним еще раз: биосфера — организованная разнородность).

В урбанизированной среде ситуация существенно изменяется, экологические системы упрощаются, «омолаживаются». Значительная часть энергии и кислорода расходуется на восстановление нарушенных биогеоценозов, на процессы деструкции слабо дисперсных веществ. Обмен вещества и энергии затормаживается. Эффективность атмосферного гомеостаза снижается. Флористические и фаунистические различия между биогеографическими регионами стираются, эндемики во все большей степени сменяются космополитами, возникают новые эндемики — техногенных ландшафтов, численность видов, обладающих повышенной стойкостью к ядам, лекарственным препаратам и т. п., непрерывно увеличивается. Биологические «каналы связи» между континентами и биогеографическими регионами дополняются техногенными. Сказанное можно рассматривать как свое-

образную констатирующую часть экологического прогноза, так как наметившаяся тенденция в изменении структуры природы, хотим мы этого или не хотим, будет углубляться и расширяться.

Грубая, опасная, но весьма распространенная ошибка заключается в том, что экологический прогноз рассматривают как предвидение характера нарастающего влияния человека на природу, а вопрос о том, как ответит биосфера на наши действия, остается в тени; о нем просто забывают. Факты, говорящие о нарушении природного баланса, поддерживаемого биосферой в течение миллионов лет, не следует рассматривать как поломку сложного механизма. Это как раз такое упрощение сложнейшего природного явления, которое равносильно его искажению. Если бы в меловом периоде, в самый разгар смены «царств» — царства рептилий на царство млекопитающих и птиц — оказался обладающий разумом сторонний наблюдатель, он, несомненно, отметил бы падение экологической эффективности биоценозов Земли и вполне мог бы расценить его как деградацию, ухудшение биосферы. Это было бы ошибкой. Такая же ошибка — стремление совершающиеся на наших глазах изменения биосферы свести к ее деградации. Естественно, что отравление реки или внесение в почву ядовитых веществ губит природу. Но эти и им подобные акции, сколь широко они ни были бы распространены, следует рассматривать не как выражение стратегии поведения человека индустриального общества в природе, а как отклонение от оптимальной технической политики. Закономерные же изменения природы, о которых речь шла выше, есть основания рассматривать как реакцию жизни в ответ на изменившиеся условия среды.

Упрощение биоценозов, их омоложение, изменение структуры отдельных звеньев цепей питания, увеличение роли животных как деструкторов первичного органического вещества — все это не деградация биосферы, а ее эволюция в новых условиях. При этом отнюдь не все эти изменения следует а priori считать нежелательными. Они ведут к повышению биологической стабильности, создают предпосылки для использования повышенной концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Более того, новые, омоложенные биоценозы, не обладающие той поражающей нас внутренней согласованностью, которая характерна для древних сообществ, отличаются меньшей степенью «замкнутости», они в большей степени работают на биосферу в целом. Вопрос этот сложнейший и почти не изученный, здесь легко ошибиться. Но одну только ошибку нельзя делать — нельзя рассматривать биосферу как пассивный объект наших воздействий, способную лишь деградировать в ответ на непривычные условия.

□

Каждый из перечисленных признаков изменения структуры и функции биосферы заслуживал бы детального рассмотрения. Ограничимся одним из них. Что такое упрощение биоценоза?

В любом биоценозе основная геохимическая работа и работа по накоплению биомассы выполняются немногими видами — доминантами, образующими ядро биоценоза, эффективность работы которого поддерживается большим числом видов-сателлитов. Стабильность сообщества обеспечивается уже упоминавшейся нами «организованной разнородностью». В биоценозах, подвергшихся сильному антропогенному воздействию, число доминирующих видов резко сокращается. Образно говоря, работа по поддержанию природного равновесия ложится на плечи немногих, нередко одного-двух видов. Но, допуская еще большую волюнтарность стиля, можно сказать, что природа нашла выход из создавшегося положения: стабильность сообщества поддерживается биологической пластичностью и популя-

ционной внутривидовой разнородностью вида-доминанта. Для иллюстрации воспользуюсь вполне конкретным примером.

При обследовании мелких озер в лесостепном Зауралье было установлено, что существенную роль в круговороте веществ здесь играют пресноводные моллюски. Но в своем большинстве виды их крайне малочисленны, и лишь один — прудовик (*Lymnaea stagnalis*) — действительно многочислен. Несколько лет назад этими наблюдениями мы бы и ограничились. Но прогресс биологии, новая биология заключается не только в проникновении в микромир живого, но и в том, что события биологического макромира стало возможным оценивать строго количественно. В нашем случае было установлено (по неопубликованным данным И. М. Хохуткина), что численность доминирующего вида моллюсков определяется несколькими миллионами на  $1 \text{ км}^2$  и что в течение летнего сезона он накапливает биомассу, исчисляющуюся десятками (до 300) тонн на  $1 \text{ км}^2$ , перерабатывая не менее 10 тыс. т фитомассы. При этом, что особенно важно, структура разных микропопуляций прудовика оказалась различной. Тем самым исключается возможность резкого сокращения численности популяции при изменении среды, так как реакции микропопуляций различной структуры даже на идентичные изменения условий существования различны.

Это скромное наблюдение ясно показывает, что такой вид действительно может взять на себя работу по поддержанию биологического равновесия целого сообщества. В функционировании современной биосферы популяционные механизмы поддержания биоценологического равновесия играют более существенную роль, чем в «нетронутой» природе. В этом проявляется один из важнейших законов жизни биологических макросистем. Чем сложнее структура животного-растительного сообщества, чем большим числом видов представлены отдельные звенья трофических цепей (упомянутой нами в начале доклада триады), тем большую роль в поддержании биологического равновесия играют собственно биогеоценологические процессы. Стабильность биогеоценозов, характеризующихся меньшим видовым разнообразием, поддерживается преимущественно механизмами популяционного гомеостаза доминирующих видов. Здесь не место для обсуждения технических деталей. Достаточно сказать, что знание основных принципов, обуславливающих поддержание биосферного равновесия, создает базу для реализации оптимальной стратегии поведения человека в природе. Суть этой стратегии может быть сформулирована предельно кратко: человек должен включить свои производственные процессы в нормальный круговорот вещества и энергии в биосфере. Следует добавить: «новой биосферы».

Может создаться впечатление, что такая формулировка — не более, чем благое пожелание, не подкрепленное даже общими соображениями о том, каким образом это должно быть осуществлено. Мне кажется, что и на данный вопрос возможен достаточно определенный ответ: человек не должен брать функции биосферы на себя, а должен облегчить ей ее работу. Я рискнул бы сказать, что отношение человека с природой должно быть основано на доверии.

Эта мысль, которой я придаю большое значение, может быть проиллюстрирована вполне конкретным примером.

Водоохранная и климатическая роль лесов была оценена давно. Даже самые агрессивные технократы сознают, что сведение лесов грозит катастрофой. Обмеление рек поставит под удар центры мировой культуры и промышленности. Ведь почти 70% крупнейших городов расположены в эстуариях рек. Ведь уже сегодня Рим получает вдвое меньше воды, чем протекало по знаменитым акведукам Вечного города при императоре Августе. Но... леса продолжают и будут продолжать рубить. Выход — посадки

леса. Их польза несомненна: они стабилизируют атмосферный и гидрологический режим громадных территорий, а даже скромные сады и парки снижают содержание пыли в атмосфере на 40%. Польза несомненна, масштабы работы грандиозны. Общая площадь защитных насаждений во всем мире (включая зеленые зоны городов) примерно равна площади лесов Западной Сибири. Если к этому добавить, что урбанизация почти повсеместно сопровождается превращением естественной растительности в леса паркового типа, то станет очевидным, что рукотворные леса по площади становятся соизмеримыми с лесами естественными. По площади, но не по своей биологической сути! Они лишены главного свойства естественных лесных биогеоценозов — способности к саморазвитию и самозащите. Более того, большинство из них лишены способности к самовозобновлению.

Во всей работе по созданию искусственных лесов в значительной степени сказались сила и слабость технической мысли, ставящей себя над природой. Если уж без деревьев обойтись нельзя, то всю работу по восстановлению и воссозданию лесных массивов берем на себя, будем решать биологическую проблему техническими средствами. В результате — многомиллиардные расходы на восстановление и поддержание посадок. А ведь возможен и иной путь: содействие природе в создании специализированных лесных биогеоценозов в измененной человеком среде. То, что уже сейчас, в процессе протекающей на наших глазах эволюции возникли стойкие растительные ассоциации на почвах, резко обогащенных свинцом и обедненных фосфором, говорит о полной реальности подобной постановки вопроса. Создание специализированных сообществ в урбанизированной среде уже происходит на наших глазах и нередко вопреки воле человека. Объединение усилий природы и человека ускорит процесс создания продуктивных и стабильных биогеоценозов в измененной среде.

Чтобы эта задача могла быть решена, необходима разработка принципов биологической инженерии, позволяющих направить ход эволюции биосферы по желательному пути.

И в этом случае представляется целесообразным не противопоставлять себя природе, а руководствоваться ее законами. Следующие обстоятельства особенно важны.

Исследования, проведенные на животных, растениях, микроорганизмах, показали, что все важнейшие процессы, протекающие на уровне популяций и сообществ, в решающей степени определяются химическим фоном, который создается в процессе жизнедеятельности самих организмов. Изменяя химический фон, мы в лаборатории уже можем изменять скорость роста и развития животных, добиваться существенных изменений в их физиологии, изменять генетический состав природных популяций, решать исход борьбы конкурирующих видов, мы сможем абсолютно безопасными, биологически адекватными методами направлять эволюцию отдельных видов и их сообществ по желательному пути.

Расшифровка химического кода индивидуального развития организмов — крупнейшее открытие науки нашего времени. Есть основания полагать, что овладение кодом, управляющим жизнью популяций (а следовательно, и биоценозов), будет не меньшим научным событием, практическое значение которого трудно переоценить. Опасная «химия ядов» уступит свое место «химии жизни» и отомрет не в результате пропаганды, а просто потому, что станет ненужной.

Затронутый вопрос представляет и большой общенаучный интерес. Химизм нашей крови в значительной степени отражает химию океана. В своем организме мы несем память об условиях зарождения жизни. Но мы знаем, что уже на первых этапах эволюции жизни биологический прогресс должен был иметь в своей основе единство популяционных и био-

ценологических процессов. Химический фон, специфика которого в решающей степени определялась жизнедеятельностью самих организмов, был главным фактором поддержания этого единства. Опыты на популяциях бактерий доказывают это с полной очевидностью. Химический принцип поддержания единства жизнедеятельности одноклеточных животных и растений был унаследован многоклеточными организмами как важнейший принцип поддержания целостности организма, регуляции эпигенетических процессов. Однако химическая сигнализация как средство поддержания популяционного и биоценологического единства сохраняет свое значение и у высших животных и растений. На новом витке спирали эволюционного развития химизм внешней и внутренней среды организмов обеспечил гармонию развития органических систем на всех уровнях биологической интеграции — от клеток до биогеоценозов.

Отчетливо дает себя знать не только единство жизни как особой формы существования материи, но и единство всей природы, живой и косной.

Симптоматично, что развитие этих представлений, находящихся на грани биологии и философии, приводит к выводам практического характера. Экспериментальные исследования и математическое моделирование на ЭВМ показали, что, изменяя структуру популяции, распределение животных по территории, их возрастной состав и т. п., мы можем добиться существенных эволюционных сдвигов даже медленно размножающихся животных в течение десятка лет.

Наконец, внедрение современной техники не только на микроуровне живого, но и при изучении биологических макросистем может содействовать быстрой и объективной оценке эффективности работы отдельных сооружений. Так, использование оптико-акустического инфракрасного газоанализатора позволяет в течение считанных минут определить суммарную энергию фотосинтеза не только отдельных растений, но и целых фитоценозов.

Становится очевидным, что современная биология обладает достаточным теоретическим заделом для разумного «сотрудничества» с природой и достаточным арсеналом технических средств, чтобы с достаточной объективностью определить, чего мы можем требовать от природы и чего требовать от природы ни в коем случае нельзя.

Однако, чтобы использовать возникающие возможности в борьбе за процветающую биотехносферу, необходимо внедрение экологического мышления в сознание человека индустриального общества. До сих пор мы, согласно хорошо понятной, исторически детерминированной традиции, привыкли решать биологические проблемы техническими средствами. Время не позволяет мне подробно обосновать этот важный тезис в данном докладе. Поэтому я позволю себе ограничиться примером. Для орошения 1 га окультуренных земель опресненной морской водой требуется энергия, эквивалентная 120 т нефти. Это не останавливает ни инженеров, ни проектировщиков. Затраты на экологический анализ планов урбанизации и индустриализации составляют менее 0,01% от общих затрат на строительство, и мне трудно назвать хоть одну отрасль производства в любой стране мира, где бы экологическая экспертиза стала законом.

Можно надеяться, что известные постановления высших государственных органов в нашей стране, направленные на сохранение природной среды, послужат основой формирования принципиально новых отношений между человеком и природой. В основу этих новых отношений должны быть положены представление о биосфере как едином целом и дифференцированный подход к работе в различных биомах.

Для иллюстрации сравним тропический лес с нашей скромной северной тайгой. Средняя продуктивность тропических лесов колоссальна.

Гектар тропического леса дает 28 т кислорода в год, что вдвое выше средних показателей для лесов разных географических регионов. Разнообразие древесных растений в нем в 10 раз выше, чем в лесах умеренного пояса. Тропические леса — это самые древние биоценоотические образования, им присвоено почти официальное название «триумф организации взаимно приспособленных видов». Но этот триумф имеет и обратную сторону: основной запас питательных веществ находится не в почве, а в растительности, круговорот веществ замкнут, почти весь кислород потребляется деструкторами внутри системы. Поэтому в результате нарушения лес замещается кустарниками, его восстановление требует сотен лет. При этом затраты энергии в сотни раз превышают энергию, которая расходуется на поддержание равновесия. Если же и вторичный лес будет нарушен, то на обедневшей почве сукцессия становится невозможной. Согласно представлениям экологов, занимающихся тропиками, достаточно нескольких десятилетий интенсивной эксплуатации тропического леса, чтобы стереть его с лица Земли.

Северная тайга как биоценоотическое образование развивалась в условиях резкого колебания климата, при периодических массовых размножениях вредителей, пожарах. Более того, есть основания полагать, что резкие изменения среды, которые мы склонны рассматривать как катастрофы, — это мощный фактор поддержания природного равновесия типичных биоценозов северных биомов. «Помехоустойчивость» тайги неизмеримо выше, чем тропического леса, причем каждая сукцессивная стадия представляет собой особую ценность и для человека и для биосферы.

Естественно, что отношение к сравниваемым биомам должно быть различным, чтобы каждый из них сохранил свою специфичную роль в жизни биосферы.

Особого отношения заслуживают регионы, биологическая продукция которых ничтожна, — приполярные территории, пустыни, высокогорья. До сих пор интерес к этим регионам, помимо чисто теоретического, определяется возможностью извлечения «полезностей». Представление о единстве биосферы позволяет видеть в этих районах Земли, составляющих почти 40% земной суши, громадный резерв биологической продуктивности. Здесь опять же необходим известный психологический перелом в сознании вооруженного современной техникой человека. Получение с указанных территорий непосредственно полезных продуктов возможно, но экономически не всегда рентабельно и вряд ли когда-нибудь будет рентабельно. Однако общее повышение биологической продуктивности, компенсирующее общее снижение биологической продуктивности на сильно урбанизированных территориях, нормализующее режим атмосферы и гидросферы на планете в целом, вполне возможно уже на современном уровне развития техники. Здесь не место останавливаться на предстоящих технических и экономических трудностях. Однако уже имеющийся опыт показывает, что они значительно меньше тех, которые связаны со строительством крупных электростанций и аналогичных сооружений.

□

Анализ главных тенденций в развитии биосферы и отношений человека к проблемам биосферы позволяет дать самый общий экологический прогноз на ближайшие десятилетия. Если отвлечься от частных случаев, то этот прогноз может быть сформулирован в нескольких фразах: существенное изменение структуры биогеоценозов Земли; увеличение роли популяционных процессов в поддержании биоценоотического равновесия; развитие способных к самовозобновлению и саморегуляции специфических биогео-

ценозов антропогенных ландшафтов, отличающихся повышенной стабильностью и повышенной способностью к биологической очистке, а на территориях, допускающих лишь ограниченное антропогенное развитие, — биогеоценозов, отличающихся повышенной биологической продуктивностью; поддержание общего баланса биосферы на уровне, обеспечивающем оптимальное развитие человеческого общества.

Для решения этих задач необходимо внедрение экологической экспертизы в промышленное и сельскохозяйственное производство и промышленной культуры в практику природопользования. На смену пассивной «охране природы» должна прийти работа по созданию оптимальной природной среды, по созданию биогеоценозов, способных к саморегуляции в измененной человеком среде.

УДК 577.4