В.А.Кротов

ОХРАНА ПРИРОДЫ: принципы, проблемы, приоритеты

В.А.Красилов

Охрана природы: принципы, проблемы, приоритеты

V.A.Krassilov

Nature conservation: principles, problems, priorities

Институт охраны природы
и заповедного дела
Москва, 1992

Institute of Nature
Conservation
and Reserves

В этой книге основные принципы охраны природы рассмотрены в связи с эволюцией жизни, подчиняющейся общим законам развития систем, общественными процессами и определением смысла человеческого существования. Дан анализ экологических проблем — изменения климата, сокращения озонового слоя, кислотных дождей, утраты биологического разнообразия, объединения генофонда и др. Кратко изложены правовые основы и экономические стимулы охраны природы, подходы к нормированию хозяйственных воздействий и обеспечению экологической безопасности, правила принятия решений.

Художественное оформление
В. И. Примакова

© Институт охраны природы
и заповедного дела, 1992

ВВЕДЕНИЕ

В этой книге охрана природы рассматривается как особая область научно-практической деятельности, имеющая первостепенное значение для сохранения биосферы и существования человеческого вида. Хотя в сфере охраны природы задействованы большие силы и средства, ее концептуальные основы остаются во многом неясными.

Нередко считают, что для охраны природы нужна лишь добрая воля граждан и органов власти. В действительности добрая воля — условие необходимое, но едва ли достаточное. Наряду с нею нужны специальные знания, сочетание теоретической подготовки и практического опыта, позволяющие ориентироваться во всем разнообразии природоохранных проблем, находить оптимальные решения.

Эти проблемы настолько сложны, что одному специалисту разобраться в них, как правило, не под силу. Тем более невозможно в одной книге (а может быть и вообще невозможно) дать рецепты на все случаи. Автор не стремился к этому, а сосредоточил внимание на общих подходах и принципиальных решениях, тоже, разумеется, не бесспорных.

Книга предназначена для широкого круга читателей (и соответственно облегчена по части терминологии, узкопрофессиональной проблематики и справочных материалов), но может представлять некоторый интерес и для специалистов, работающих в области теории и методологии охраны природы.

Автор признателен коллегам из Всероссийского института охраны природы и заповедного дела за поддержку и помощь в работе над книгой.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Термином «природа» чаще всего обозначают совокупность объектов и систем материального мира в их естественном состоянии, не являющемся продуктом трудовой деятельности человека. В то же время сам человек как биологический вид принадлежит природе. Говоря о человеческой природе (или «натуре»), имеют в виду наследственные свойства в противоположность приобретенным в процессе воспитания и общественной деятельности.

Таким образом, мы с самого начала сталкиваемся с дуализмом как самого человека, так и его окружения, состоящего из естественных, природных и созданных им самим — антропогенных, техногенных компонентов.

Вместе с тем жесткое разделение природного и социального, природного и духовного начал едва ли оправданно. Элементы социальности и духовности есть и в природе, а человек, если еще и не достиг, то, по крайней мере, стремится к органическому соединению природного наследия с культурой. В силу этого человека можно считать существом полуприродным.

Эпитет «полуприродный» уже закрепился в литературе за компонентами среды обитания, которые, хотя и не были специально созданы человеком, но претерпели значительные изменения в результате его деятельности, как, например, вересковые пустоши, воспетые английскими романтиками, или среднерусские березовые редколесья.

Человек, как и все организмы, формирует свою среду и в то же время приспосабливается к ней. Сущность этих взаимодействий вскрыта теорией эволюции (Ч. Дарвин) и сложившейся на ее основе специальной научной дисциплиной — экологией (Э. Геккель).

Употребляемые в связи с экологией понятия «организм» и «среда» также нуждаются в уточнении. Организм привычно ассоциируется с отдельной и неразделимой формой жизни. Однако все многоклеточные организмы отделяют для размножения живые клетки, какое-то время существующие самостоятельно. Клеточные органеллы (или часть их) происходят от свободно живущих доклеточных форм и сохраняют известную автономию внутри клетки. У них свои взаимоотношения с внутриклеточной средой, своя экология. Ядерный геном также состоит из разнородных элементов, часть которых может отделяться и обладает подвижностью в геномной среде. Экология этих элементов имеет решающее значение для познания механизмов наследственности и генетических заболеваний.

Как видим, представление об организме меняется в зависимости от того, какой уровень организации живого мы рассматриваем. Организм — это любая форма жизни, обладающая хотя бы частичной способностью к автономному существованию в своей среде обитания. Среда же — это то, что окружает организм. Поэтому словосочетание «окружающая среда» тавтологично (его предлагаемый прототип.— английское слово environment означает «окружение», но никак не «окружающая среда»). Средой в конечном счете можно считать всю Вселенную. В более конкретном смысле, среда обитания — это совокупность феноменов внешнего мира, воспринимаемых в процессе жизнедеятельности. Природа в первом из приведенных выше значений соответствует естественной среде обитания человека в отличие от техногенной среды, созданной самим человеком.

Экологические исследования первоначально были посвящены взаимоотношениям организмов какого-то определенного вида с другими видами и абиотическими (неживыми) компонентами среды обитания. Это направление получило название аутэкологического. Только в 20-х годах нынешнего столетия в фокусе исследований оказались сообщества взаимодействующих видов как целостные системы. Изучение таких систем — предмет синэкологии.

Рассматривая природу исключительно как среду обитания человека, мы становимся на антропоцентрическую позицию, которая целиком относится к аутэкологии. Если же человек выступает в качестве одного из компонентов природно-техногенных систем, то мы перемещаемся в сферу синэкологии. Эти подходы не обязательно исключают друг друга.

Э. Геккель не только основал новую дисциплину, но и открыл новую страницу в истории естествознания. Ведь до появления экологии объектами естественных наук были материальные тела, формы движения, процессы. Здесь же впервые в качестве объекта исследования заявлены системные взаимоотношения. Поэтому экология дала мощный импульс не только теории эволюции, биологии в целом, но и общей теории систем, основатели которой большей частью начинали как экологи. Всепроникающее благотворное влияние экологии испытали на себе в первую очередь различные биологические дисциплины. На границах их соприкосновения с экологией возникли экологическая стратиграфия, например, относится к области наук о Земле, а экология человека, теснейшим образом связана с антропологией, социологией, демографией, медициной, эргономикой (оптимизацией условий труда).

Таким образом, сейчас уже нет смысла настаивать на том, что экология — одна из биологических дисциплин, вопрос о ее статусе имеет некоторое значение для организации науки и прос-

ветительской деятельности. Выйдя из лона биологии, она превратилась в разветвленную область знаний, равноценную другим естественным наукам и мощно вторгающуюся в сферу общественных наук.

Излюбленным объектом исследований Э. Геккеля были микроскопические морские организмы радиолярии, и, создавая новую науку, он, наверное, представлял себе ажурную кремневую раковинку, парящую в голубой воде. Сейчас же при слове «экология» перед мысленным взором предстают дымящие трубы и грязные стоки. Экологическими стали называть главным образом проблемы загрязнения среды обитания человека, а экологами — людей, озабоченных этими проблемами. В данном случае лучше, наверное, говорить об экофилии и экофилах, оставив экологию профессионалам. В целом же такое смещение акцентов вполне закономерно: экология как наука превращается в теоретический фундамент обширной области производственной и управленческой деятельности.

Подобная метаморфоза произошла в прошлом с геологией, химией, атомной физикой, прикладные аспекты которых преобразовались в особые области производства.

Классическое определение экологии как науки о взаимодействии организмов со средой их обитания сохраняет силу, но на современном этапе, с учетом вышесказанного, трансформируется в область знаний о природных и природно-антропогенных системах, содержащих живые компоненты, принципах управления такими системами в процессе природопользования, средосберегающего и средовосстановительного производства, оздоровления среды обитания человека.

Среда обитания («окружающая среда») состоит из природных и техногенных компонентов в различных сочетаниях, причем концепция сохранения относится лишь к первым (в самом деле, нет смысла сохранять транспортную сеть, если есть возможность ее улучшить). В ее сферу попадает и природное начало в самом человеке. Сама концепция, впрочем, нуждается в уточнении, поскольку «охрана природы» может означать: а) сохранение статус-кво, б) предотвращение ущерба от техногенных воздействий и в) согласование человеческой деятельности с законами природы. Последнее теоретически более приемлемо, но предлагает гораздо лучшее понимание законов природы, чем то, которым мы располагаем в настоящее время.

ЦЕЛИ

О целях охраны природы чаще всего судят прагматически: природа — источник ресурсов, которые нам необходимы сейчас и еще понадобятся в будущем (какой-то вид организмов кажется совершенно бесполезным, но по мере развития биотехнологий может стать источником необходимого генетического материала). Нередко звучат также моральные и эстетические мотивы. Но в конечном счете цели охраны природы можно определить, лишь исходя из общих целей развития жизни нч еловеческого существования.

По христианской концепции, человек стремится вернуть утраченный рай, блаженное существование на лоне природы, которого он лишился в результате первородного греха. Природа была создана для человека, но человек, первой задачей которого было поименование (инвентаризация) всех живых существ, рассматривался скорее как ее хранитель, чем пользователь. Уничтожение какой-либо из форм жизни несовместимо с христианской моралью.

В религиозно-философских системах 19—20 вв. появилось понятие «вечно женственного», как дополнительное к трем мужским ипостасям божества и олицетворящее природу, ее плодотворное начало. Мысль В. Гёте о вечно женственном, которое нас возвышает (концовка «Фауста»), содержит самое общее определение жизненных целей в рамках данной концепции.

С научным определением цели дело обстоит сложнее и, наверное, далеко не все ученые согласятся с тем, что оно вообще уместно. Действительно, наука не занимается предопределенными целями, о которых нам ничего знать не дано, но она не может не интересоваться целями, возникающими в процессе исторического развития. Например, для многих растений привлечение насекомых-опылителей служит целью, которой подчинены разнообразные средства. Можно сказать, что морфология и биохимия цветка эволюционно формировались для этой цели.

В общем случае цель появляется при соединении тех или иных объектов в систему и задается именно системой (насекомоопыление в приведенном выше примере).

Цель функциональной системы состоит в обеспечении собственного устойчивого существования. Система, таким образом, работает не только и не столько на настоящее, сколько на будущее. Ее структурные компоненты подчинены этой цели. Так в экологической системе существует распределение ролей между входящими в нее организмами разных видов. Эволюционная судьба вида предопределена той ролью, которую он играет, теми

задачами, которые ставит перед ним система. Вид, разрушающий биоценотическую систему и подрывающий основы существования последующих поколений, обречен на вымирание. Это справедливо и для человека.

У человека чувство бесцельности существования возникло в связи с частичным выпадением из системы, в которой он сложился как биологический вид. Социальная система, возникшая как дополнение к природной, на современном этапе своего развития противостоит последней как разрушительная сила. Человеческое общество функционирует по законам природы, если оно стабилизирует среду обитания и создает благоприятные условия для будущих поколений людей. Общество, разрушающее среду в процессе потребления, вступает в противоречие с этими законами и лишает себя будущего.

Цель, таким образом, состоит в замене антагонистических отношений между природой и обществом на отношения дополнительности, при которых общественная система стабилизирует природную. Конкретные задачи и приоритеты природноохранной деятельности вытекают из этой общей цели.

ПРИНЦИПЫ

На первый взгляд достаточно одного принципа — необходимости сохранения природного наследия как естественной основы материального и духовного благополучия нынешнего и последующих поколений людей. Однако в ходе его реализации возникает множество противоречивых предложений; от запуска токсичных отходов на околосолнечную орбиту до их использования в качестве строительного материала или удобрений. Конечно, серьезные проекты в той или иной степени опираются на научные разработки и подвергаются экспертизе. Ни то, ни другое, к сожалению, не гарантирует от ошибок, тем более что в среде экспертов также нет согласия относительно принципов, из которых следует исходить при определении стратегических направлений охраны природы.

Существует несколько формулировок основных природоохранных принципов*, к которым я хотел бы добавить нижеследующие.

ПРИНЦИП ИСТОРИЧНОСТИ

Организация природоохранной деятельности требует изучения истории природных объектов и систем. Показательна в этом отношении бедственная ситуация в Прикаспии, во многом связанная с тем, что хозяйственная деятельность в этом регионе была ориентирована на необратимое снижение уровня Каспия. Начавшаяся в 1978 г. трансгрессия — за пять лет уровень моря поднялся почти на 2 м — нанесла значительный ущерб, которого можно было, по крайней мере, частично избежать. В зоне затопления оказались места сброса токсичных отходов и пониженные участки, загрязненные нефтепродуктами. Планируемые защитные мероприятия — сброс воды в залив Кара-Богаз-Гол и близлежащие впадины — также требуют проработки с учетом цикличности колебаний уровня Каспия, который, по-видимому, начнет падать уже в течение следующего десятилетия.

ПРИНЦИП СИСТЕМНОСТИ

В природе мы неизменно имеем дело со сложными системами, компоненты которых связаны взаимодействием с позитивными и негативными обратными связями.

Системность природных объектов требует рассмотрения каж-

* Caring for the Earth. IUCN, UNEP, WWF, Gland, 1991.

дой проблемы как части более общей, каждого единичного фактора — во взаимосвязи с другими факторами, так или иначе модифицирующими его действие. Если мы говорим об устойчивости природной системы к температурным колебаниям, то следует иметь в виду, что она зависит от влагообеспеченности и минерального питания и наоборот. Если речь идет о загрязнениях, то совместное действие различных загрязнителей существенно отличается от действия каждого из них в отдельности. Обсуждая проблему глобального изменения климата в результате накопления в атмосфере CO и других парниковых газов, можно (как будет показано в следующем разделе) допустить просчеты с серьезными политическими и экономическими последствиями, если прогнозировать потепление без детального рассмотрения всей системы позитивных и негативных обратных связей.

К сожалению, мы имеем здесь дело не с гипотетической, а вполне реальной ситуацией, когда прогнозные модели основываются на редукционистском подходе, вычленяющем немногие факторы, априорно признанные ключевыми. В экологии, науке о системах, редукционизм в качестве методологического подхода едва ли приемлем.

ПРИНЦИП БИОСФЕРИЗМА

Принимая в качестве высшей этической ценности сохранение биосферы, этот принцип развивает гуманистическую концепцию Возрождения и руссоистско-кантианскую этику, категорический императив которой предписывает видеть в человеке лишь цель, но не средство, как основание современной этики. Вместе с тем, гуманистический принцип недостаточен, поскольку он провозглашает человека не только высшей, но и, в сущности, единственной этической ценностью. Биосферное мышление обнаруживает в гуманизме самоутверждение господствующего вида («специизм»), разрывающее системные связи, вне которых существование человека бессмысленно и не представляет этической ценности. Человек, один из множества биологических видов, может сохраниться лишь в системе биосферы, тогда как техносфера предназначена для роботов. Таким образом биосферизм не только теоретически важен как системный принцип, но и практически необходим как условие сохранения естественной среды обитания, который в противном случае грозит полное замещение техносферой с неизбежной роботизацией человека.

Давно замечено, что жестокое отношение к природе сопутствует жестокости между людьми. Начинающие убийцы тренируются на животных. Грандиозные планы покорения природы проводились в жизнь людьми, систематически подвергавшимися нравственному насилию. Преодоление жестокости невозможно

без нравственного отношения к природе, которое должно стать категорическим императивом 21 века.

ПРИНЦИП АДАПТАЦИИ

В теории биологической эволюции центральное место занимает принцип адаптации видов к среде их обитания. Адаптация означает приобретение видами особенностей (морфофизиологических, поведенческих и др.), позволяющих более эффективно использовать ресурсы среды, противостоять воздействиям и сохранить оптимальную численность. Адаптация рассматривается как движущая сила эволюционного прогресса, а развитие жизни в целом носит адаптивный характер.

Человек на биологической стадии своего развития следовал принципу адаптации. Однако в ходе технической эволюции возобладала тенденция к преобразованию природной среды, ее приспособлению к потребностям общества. Последнее достигается главным образом путем замены природных компонентов среды техногенными. Наиболее очевидной формой этого процесса стала урбанизация. Древние центры градостроительства — Афины, Рим, Иерусалим, Киев — формировались постепенно в процессе конкуренции и естественного отбора — отсюда их незаурядная устойчивость. По-видимому, все благоприятные для урбанизации локусы были выявлены задолго до нашей эры. То, что прибавила к ним современная цивилизация, пришлось отвоевывать у природы ценой огромных усилий. Медный всадник возвысился над стихией невских разливов ценой нарастающего в течение столетий экологического бедствия.

Процесс урбанизации пока затронул не более 4% поверхности суши, но уже рассматривается социологами как угрожающий. Люди скапливались за городскими стенами для защиты от врагов (других людей). Иначе говоря, урбанизация развивалась на почве острых внутривидовых конфликтов, переводя их в плоскость предельно острого конфликта между человеком и природой.

Исчезнувшие цивилизации древности — свидетельство неудавшихся попыток покорения природы, которое и в новое время практиковалось — с теми же результатами — тоталитарными государствами. Негативный опыт тотального покорения природы показал несостоятельность представлений о возможности одностороннего управляющего воздействия человека на среду обитания, не учитывающих системный характер этих взаимоотношений. В системе «человек-среда» возможно лишь управление с обратной связью. Проблема адаптации, в сущности, сводится к тому, чтобы укрепить позитивные обратные связи и по возможности исключить негативные.

Однако на современной стадии развития человеческого общества в его взаимодействии с природной средой преобладают негативные обратные связи. Они выглядят как сопротивление среды, нарастающее с усилением воздействий.

Так загрязняющие воздействия, использование среды для размещения отходов приводит к тому, что человеческая популяция как конечное звено трофических цепей аккумулирует загрязнения и превращается в своеобразный накопитель отходов.

На интуитивном уровне эта ситуация отражена в антиутопических моделях технизированного будущего. Канадский экономист и писатель С. Ликок рисует безрадостную картину асбестовых улиц, по которым передвигаются неразличимые по половым признакам фигуры в асбестовых костюмах (интуиция писателя тем более примечательна, что в его время еще не были известны канцерогенные свойства асбеста; широкое применение этого материала могло стать существенным фактором естественного отбора, в результате которого сохранились бы асбестоустойчивые генотипы, не обязательно представляющие лучшую часть человечества). Преобразование среды неизбежно ведет к изменению самого человеческого вида. По отношению к сложившимся в обществе этическим и эстетическим нормам преобразование человека (включая сокращение разнообразия рюдей) обычно оценивается как вырождение.

Эволюционный успех человеческого вида связан в первую очередь с его большими приспособительными возможностями. От природы человек адаптирован к естественным изменениям среды в относительно широких пределах, а техника призвана еще больше расширить их. На деле же технический прогресс нередко уменьшает устойчивость к природным воздействиям (первобытный мир не знал катастроф, сопоставимых с гибелью Помпеи или ташкентским землетрясением).

Происходит это в силу несоответствия между эволюцией техносферы и биосферы. Техносферные структуры рассчитаны на статичные условия и линейный рост, тогда как биосферные процессы неравновесны и парацикличны (тектонические, эвстатические, климатические, популяционные циклы).

Мы уже видели на примере Каспия, к чему приводит недооценка природных циклов. При смене знака все потенциальные преимущества (например, благоприятные условия для восстановления нерестилищ во время трансгрессии) оказываются упущенными, а все мыслимые опасности (затопления размещенных слишком близко к береговой линии транспортных магистралей, складов токсичных отходов и т. д.) превращаются в реальный ущерб. Природа адаптировалась к подобным колебаниям, и техносфере остается сделать то же самое.

Своего рода фетишизации техносферы проявляется и в современной стратегии стабилизации климата путем регуляции содержания CO в атмосфере. Хотя сокращение выбросов можно только приветствовать, связанные с ним надежды на предотвращение климатических изменений утопичны, а расходуемым на это огромным средствам можно найти лучшее применение.

В общем случае отношения техносферы и биосферы должны строиться по принципу уподобления, а не противостояния. Уподобление оказывается оптимальной стратегией и в отдельных областях природопользования (так лесозаготовки, имитирующие естественные нарушения, наносят меньший ущерб генофонду лесной растительности, чем традиционные рубки главного пользования*).

ПРИНЦИП ПЛАНЕТАРНОГО ЕДИНСТВА

Основываясь на представлении о биосфере как целостной системе, принцип единства имеет фундаментальное значение для международной деятельности в области охраны природы. При всех различиях в экономической и политической сферах, народы мира имеют общие экологические интересы, которые служат объединяющим началом.

Единство целей особенно очевидно в случае разделяемых природных ресурсов — рек, протекающих по территории нескольких государств (Рейн и Дунай — классические примеры, но и водосборные бассейны великих сибирских рек захватывают монгольскую территорию, экологическое состояние которой, таким образом, влияет на Арктический бассейн), приграничных лесных массивов, мигрирующих животных и т. д. Однако в силу планетарного характера циркуляционных систем атмосферы и океана, круговорота веществ в пределах биосферы (к биосферным потокам относится, в частности, и перенос веществ, осуществляемый из года в год мигрирующими животными) локальные воздействия сказываются далеко за пределами местного источника.

Проблема трансграничных загрязнений воздуха остро стоит в европейских странах, уже в течение ряда лет сотрудничающих под эгидой специальной конвенции. Существуют международные конвенции и межправительственные соглашения по мигрирующим видам. Но это лишь фрагменты той системы договоров, которая обеспечит планетарное единство действий и которую еще предстоит создать.

* Dayton L. New Scientist, 1990, October, 25—29.

ПРИНЦИП ПРИОРИТЕТА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Декларативное признание важности экологических проблем далеко не всегда сопровождается адекватными практическими действиями. Природоохранные расходы неизменно оказываются в одной из последних строк государственных бюджетов, намного уступая оборонным. В развивающихся странах озабоченность экономическими проблемами систематически отодвигает охрану природы на задний план.

Между тем развитие ценой разрушения природного наследия, истощения ресурсов не может принести благоденствия. Цель развития состоит в повышении качества жизни — понятие, включающее, наряду с уровнем доходов, благоприятную среду, долголетие, физическое здоровье, психическое равновесие и возможность передачи этих качеств потомству. Экологические факторы воздействуют на все показатели качества жизни, определяют основные свойства личности. В силу этого обеспечение экологической безопасности — благоприятного состояния факторов среды — должно быть признано приоритетом общественного развития.

В практическом плане этот принцип означает, что социальные и экономические программы должны быть положены на экологический каркас территории в виде схемы охраны природы и ландшафтного планирования. Он находит применение в сфере природоохранного законодательства, регламентации хозяйственной деятельности и экологической экспертизы.

ПРИНЦИП УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Древние цивилизации Месопотамии и Средиземноморского региона развивались по общему сценарию: рост населения — истощение ресурсов — экспансия — милитаризация, тоталитаризм — сверхнагрузка на ресурсы (италийские леса пошли на строительство римского флота) — деградация среды обитания — духовная деградация — утрата внутренней энергии, развал государственной системы.

Современное общество стремительно приближается к критической черте. Необходима стратегия устойчивого развития*, которая позволит сойти с проторенного пути и снять конфликт между интересами настоящего и последующих поколений.

Устойчивость означает сохранение и расширение перспектив

* Забота о Земле. Стратегия устойчивого существования. МСОП, ЮНЕП, ВВФ, 1991.

ПРИОРИТЕТЫ

При большом разнообразии экологических проблем общество вынуждено устанавливать очередность их решения и соответственно вложения средств. Это не означает, что какие-то экологические проблемы должны быть отодвинуты на неопределенный срок, но все же расстановка приоритетов представляется необходимой.

Нередко практикуется выделение приоритетов с антропоцентристских позиций — человек прежде всего. Антропоцентристские настроения очень устойчивы и брошенный поборникам охраны природы упрек — «о человеке забыли»— найдет сочувствующих в любой аудитории. В утрированном варианте природа вообще не упоминается, так как охранять надо не природу, а «окружающую среду».

В качестве курьезного примера приведу преобразование природоохранного ведомства СССР в Министерство охраны окружающей среды, а затем в российское Министерство экологии и рационального использования природных ресурсов.

Такого рода демагогические установки, разумеется, ведут к более глубоким последствиям, чем переименование правительственных структур, не способных определить, чем они занимаются. В частности, нормирование концентраций токсичных веществ ведется с санитарно-гигиенических позиций — насколько они вредны для человека. Гибель природы при концентрациях ниже установленного этим способом порогового уровня человеку, видимо, должна быть совершенно безразлична.

Не приходится спорить с тем, что вся природоохранная деятельность так или иначе затрагивает интересы человека. Но в чем они, эти интересы? Разумеется, любой человек заинтересован в том, чтобы дышать чистым воздухом, иметь удобное жилище, достаточное питание и медицинскую помощь. Но способствует ли всему этому сведение снабжающих атмосферу кислородом тропических лесов, древесина которых идет, в частности, на отделку шикарных кабинетов политических лидеров (вспомним получивший широкую огласку эпизод с махагониевым деревом в кабинете М. Тэтчер)? В интересах ли человека было пустить воды, питавшие Арал, на орошение и в конечном счете поставить десятки миллионов людей под угрозу физического вырождения и гибели? И сколько лекарственных препаратов недосчитают наши потомки в результате утраты биологического разнообразия?

Еще раз напомню, что любое воздействие на природную среду вызывает ответную реакцию, которая в большинстве случаев оказывается неблагоприятной для человека. При этом заболева-

ния, связанные с загрязнениями среды — лишь надводная часть айсберга. В долговременном плане более существенны воздействия, запускающие механизм естественного отбора на устойчивость к техногенным факторам, исподволь перестраивающий генофонд человеческой популяции.

И, наконец, человек нуждается не только в материальном, но и духовном комфорте. Нужна основательная, хотя, может быть, и не фронтальная, а косвенная (с помощью аргументов типа «нужды человека прежде всего») идеологическая обработка для того, чтобы со спокойной совестью наблюдать гибель природы.

Я уже отмечал, что антропоцентризм относится к области аутэкологии и в ряде случаев вполне уместен. Однако это не единственный возможный подход. Система «человек — среда» может рассматриваться и в синэкологическом плане с соответствующей расстановкой приоритетов.

Из этого следует, что приоритеты могут определяться ситуационно, как в случае экологической катастрофы, заставляющей отвлечь силы и средства от других проблем. Однако долговременные приоритеты основываются на наших представлениях о природных и техногенных процессах и их последствиях. Например, выбросы хлорфторуглеродов не привлекали большого внимания до тех пор, пока не возникло предположение об их участии в разрушении озонового слоя. Таким образом, приоритеты зависят от существующего уровня знаний.

Приоритеты могут соответствовать пространственно-временным масштабам явлений. При этом более высокий рейтинг имеют глобальные и необратимые процессы. Приоритетность глобальных проблем обусловлена уже тем, что они, охватывая всю биосферу, проявляются повсеместно, хотя может быть и с различной остротой. Далее, глобальные явления имеют долгосрочные, во многих случаях необратимые последствия. Глобальные климатические изменения носят циклический характер, но возврат к исходному состоянию может произойти через сотни или тысячи лет и никогда не будет стопроцентным по всем параметрам. Утрата биологического вида невосполнима, так как каждый вид — уникальный продукт эволюции, носящей необратимый характер.

Решение глобальных проблем требует согласованных действий, которые будут эффективными лишь в том случае, если человечество ощутит себя единым целым и преодолеет узость национального мышления. Сейчас же вопрос нередко ставится так: какое решение выгодно для нашей страны? Не ущемит ли международное соглашение наши национальные интересы? Политики, карьера которых больше зависит от домашних настроений, чем от международного престижа, неизменно становятся на на-

ционалистическую точку зрения, по существу, блокируя создание всемирной системы экологической безопасности. Для продвижения в этой области необходимо осознать, что полезное для всего человечества не может быть вредным для отдельного народа, если, конечно, иметь в виду долгосрочные интересы.

На национальном уровне, естественно, возникают приоритетные проблемы, связанные с географическими особенностями страны и специализацией экономики. Так, в странах Ближнего Востока на первом месте проблема водных ресурсов, а в Бразилии — сохранение тропических лесов. Наряду с очевидными существуют проблемы, для выявления и оценки которых необходим специальный анализ с использованием методов оценки состояния природных комплексов и прогнозирования их развития. Это относится в первую очередь к России с ее огромным и нерационально используемым экономическим потенциалом. Здесь более всего скрытых проблем, способных превратиться в приоритетные в ближайшем будущем. К этой теме мы еще вернемся в последующих главах. Главная проблема, однако, состоит в пересмотре общественной позиции в отношении природы на всех уровнях, от высших законодательных органов и правительства до неправительственных организаций и отдельных граждан.

ПРИРОДА В ОБЩЕСТВЕННОЙ ЖИЗНИ И КУЛЬТУРЕ

Первые проявления духовной жизни человека связаны с культом природы в древнейшей культовой системе — тотемизме. Природный объект, избранный в качестве племенного тотема, исключался из хозяйственной деятельности и использовался лишь в ритуальных целях. Табуировались местообитания тотемного вида, особо опасные для него способы охоты. Тотемизм, таким образом, способствовал развитию нормативного отношения к природе, позволявшего древнему человеку в течение десятков тысяч лет сохранять естественную среду обитания.

Тотемическую стадию развития прошли все народы, она оставила глубокий след в их сознании. Тотемизм был детством человеческой души и в полном соответствии с эволюционным законом повторения истории рода в индивидуальном развитии еще и сейчас угадывается в детском влечении к животным.

В античности постепенная гуманизация культуры выразилась в мифологической эволюции божеств, вначале звероподобных, затем все более человекоподобных. Химерические боги промежуточной стадии, кентавры, сфинксы, гарпии и другие полулюди-полуживотные, постепенно переходили в ранг чудовищ, порожденных большей частью самой Землей. Но и вполне человекообразным богам нередко приходилось — явная дань тотемизму — превращаться в животных, чтобы зачать полубога или героя (Зевс принимал облик быка и лебедя, а скандинавский бог Локи, превратившись в кобылу, даже родил замечательного жеребца). В более цивилизованных вариантах такого рода мифов животные не рожали, но вскармливали богов и героев, подобно козе Зевса или волчице Ромула и Рема, воспитывали их, подобно мудрому кентавру Хирону. Бывший тотем переходил в постоянного спутника бога, в посвященное ему животное (орел Зевса, голубь Афродиты, сова Афины, волк Аполлона и т. д.). В качестве такового он тем не менее продолжал выполнять природоохранные функции, поскольку сохранялось нормативное отношение к животному, растению, участку растительности, посвященной тому или иному божеству.

Следы тотемизма угадываются под позднейшими наслоениями и в Библии. Человек был создан как хранитель Эдема, природного парка, и первой его задачей было поименование всех животных. Присутствие природных объектов — яблока, змеи — в легенде о первородном грехе восходит к тотемической сексуальной символике, позднее ушедшей в подсознание.

Младенец Иисус в яслях окружен животными. Аналогично,

индийская царица Майя, долгое время остававшаяся бездетной, зачала, увидев во сне белого слона, который вошел в ее чрево. Рожденный ею принц Сиддхарта в возрасте семи лет заметил птицу, схватившую земляного червя. «Увы, неужели все живые существа убивают друг друга?» — подумал принц. С этого момента началось его духовное просветление и превращение в Будду.

Культура тотемического периода была в сущности единой, но распад ее в западной части ойкумены шел гораздо быстрее, чем в восточной, где тотемические представления — в частности, о переселении душ — прочно вошли в формирующиеся религиозные системы. Это первое разделение хотя и относилось к области духа, самым решительным образом отразилось на экономике (отношения экономики и духовной сферы оказались противоположными марксистской схеме). Восточные страны отстали по технологическим меркам, но в большей степени сохранили природную среду обитания при более высоких показателях демографического роста.

С ростом городов происходило также расхождение городской и сельской субкультур, причем в последней пережитки тотемизма сохранились вплоть до наших дней. Городская субкультура, напротив, быстро отрывалась от природных корней, духовный мир горожанина все больше смещался в область идеального. Так возникло отмеченное Ф. Ницше противостояние Аполлона и Диониса, прошедшее через всю последующую европейскую культуру. Аполлон, окруженный музами, воплощает идеальную красоту, высокое искусство. В то же время его стрелы сеют смерть, он гомосексуален, бесплоден. Его конфликты с лесными божествами, сдирание кожи с Марсия, преследование нимф, ищущих спасения в слиянии с природой, становятся понятными в контексте противоречий между городской и сельской субкультурами.

Городской субкультуре принадлежит учение Сократа, который провозгласил человека центральным субъектом познания, отодвинув природу на задний план. Его ученик Платон создал философскую систему, в основе которой лежит представление о трансцендентных — недоступных чувственному познанию — идеях. К сфере Аполлона несомненно отосится и разработанная Платоном древнейшая модель идеального тоталитарного государства

Главным оппонентом Платона в Древних Афинах был философ Диоген, без малейшего смущения называвший себя, как и другие киники, собакой («Диоген-собака так называемым эллинам желает погибели»—зачин одного из его посланий афинянам). Киники, возрождая элементы тотемизма, призывали к сохранению только тех человеческих потребностей, которые продиктованы самой природой.

В древней Иудее, по уровню урбанизации едва ли уступавшей Греции, также главенствовала идея трансцендентного божества, в сущности близкая платонизму. Экологическая ситуация в Иерусалиме, вероятно, оставляла желать лучшего. Достаточно напомнить, что Геенна огненная, символизирующая ад, была гигантским полигоном для сжигания городских отходов, устроенным в Енномовой долине на месте дубовой рощи, посвященной языческому богу Молоху.

Идеализация духовной жизни сопровождалась вытеснением ее природной составляющей и решительной борьбой с пережитками тотемизма (было несколько попыток визуализации библейского бога в образе тельца), которая была возведена в основной религиозный принцип (не сотвори кумира). Период борьбы с тотемизмом мощно (и негативно) отразился на восприятии природы человеком нового времени.

В христианстве антропоцентристская иудейская религиозность подверглась влиянию языческих культов и возрожденных элементов тотемизма (в обрядах крещения — приобщения к водному тотему, причастия и др.), образовав устойчивую синкретическую систему. В культуре средневековья природа существовала для человека, но, как божье создание, требовала нормативного отношения. Св. Франциск Ассизский, которого может быть следует считать основателем экологии, учил любви к природе и проповедовал птицам.

В средние века монастыри и другие землевладельцы считались с правами животных, и, чтобы вывести мышей или муравьев, нужно было предоставить им подходящее жилье в другом месте. Споры по таким вопросам разбирались в суде, причем интересы животных представлял специально приглашенный для этой цели адвокат. Возрождение предало эти обычаи забвению.

Эпоха Возрождения ознаменовалась в первую очередь возрождением античной городской культуры, начавшимся в городах Италии на рубеже 13 и 14 веков, а в других странах с менее быстрым ростом городов на один-два века позднее. Основные идейные установки Возрождения в сущности совпадали с учением Сократа—Платона. Человек был поставлен в центр мироздания, природа отошла на задний план, став фоном. В искусстве Возрождения, кстати, практически нет пейзажной живописи.

Что же касается человека, то его физический облик и чувства подвергались столь активной идеализации, что в них не осталось почти ничего природного. Любовная поэзия Данте и Петрарки следовала установке Платона на отделение любви от полового влечения и в сущности табуирование последнего (в этом отношении она представляет собой разительный контраст с описанием того же чувства в живой и непосредственной поэзии вагантов 12 в. Был, правда, «Декамерон» Боккаччо, но мэтры ре-

нессансной поэтики его не одобряли). Если ад «Божественной комедии» еще содержит беглые пейзажные зарисовки, то природный образ рая заменен гигантским амфитеатром, в котором места распределены по степени святости.

Закат Возрождения связан со многими причинами, среди которых стоит упомянуть гелиоцентрическую систему Н. Коперника, выведшую человека из геометрического центра мироздания и существенно повлиявшую на его мироощущение. Эпоха великих географических открытий показала пространственную ограниченность европейской цивилизации и величие девственной природы. Далекие цветущие острова, населенные бесхитростными «детьми природы», стали для европейца действенным фактором перестройки духовного мира.

Период перестройки с его трагическими обертонами нашел отражение в культуре барокко, которая с большим основанием, чем Высокое Возрождение, может рассматриваться как основа духовного мира современного человека. Стихийные силы мощно вторгаются в мир шекспировских образов. Мильтон восстанавливает природный облик рая. Кальдерон создает мятежника Эусебио — прообраз многочисленных благородных разбойников романтического периода, ищущих в природе союзника в своей борьбе против общества.

Эскапизм — бегство от цивилизации на лоно природы как путь духовного возрождения — стал основным мотивом культуры предромантизма (Д. Дефо, Ж.-Ж. Руссо), а затем и высокого романтизма 18 в. В творчестве немецких романтиков впервые отчетливо прозвучал призыв к сохранению нетронутой природы. В выросших на почве христианского романтизма религиозно-философских учениях природа нередко выступает как четвертая ипостась божества, его женское начало — «вечная женственность» (Гёте, Вл. Соловьев).

Романтизм дал не только великих поэтов, но и своим обращением к природе способствовал развитию естествознания. Молодой Дарвин в период формирования его теории находился под влиянием романтической концепции природы, которая позднее, во многом под воздействием его идей, уступила место эволюционизму.

После Коперника Дарвин произвел крупнейший переворот в общественном сознании, не без сопротивления воспринявшем генетическую связь человека с природой. Вместе с тем в переходный период, который еще не завершился, остаются обширные области духовной жизни, практически не затронутые эволюционным мышлением.

Становление эволюционизма совпало с ускорением технического прогресса и максимальной экспансией европейской цивилизации, которая столкнулась с острой нехваткой природных ре-

сурсов. Первая мировая война была действительно первой в европейской истории, развязанной не столько ради присвоения накопленных другими народами богатств, сколько ради перераспределения природных ресурсов. После нее мир вступил в эпоху тоталитаризма, которая в истории взаимоотношений человека и природы оказалась самой мрачной. Главная цель тоталитарного режима состоит в создании полностью управляемого общества, а это невозможно без подавления неуправляемого природного начала в самом человеке (воспитание нового челвека) и в окружающем его мире (покорение природы). Не случайно поэтому тоталитарные государства воюют с генетикой, регламентируют сексуальные отношения, осуществляют гигантские проекты преобразования природы.

Последние преследовали не только и не столько экономические, сколько идеологические цели, демонстрируя всемогущество режима. Тем же целям было подчинено размещение производства, концентрация населения, такие меры, как укрупнение населенных пунктов в северных районах, приведшее в конечном счете к экологической катастрофе. Огромный ущерб природе нанесли и неизбежные при тоталитаризме войны, милитаризация экономики.

Провозглашая лозунг «все для человека», тоталитарное государство действительно берет на себя заботу об основных человеческих потребностях, включая потребность в четко определенном смысле жизни, требуя взамен безоговорочной капитуляции личности перед общественной системой.

В результате основной проблемой посттоталитарного периода становится реконструкция личности, самостоятельно решающей проблему смысла жизни, в прошлом монополизированную государством. Непосредственным толчком к перестройке послужила неспособность тоталитарной системы выиграть соревнование в военной сфере. Идея защиты области интересов тоталитарного режима (неправомерно отождествляемой с родиной) уступила место представлениям о единстве человечества, жизненного пространства Земли, человека и природы, составляющим основу нового менталитета.

Долго подавляемое природное начало утверждается в качестве равноправного компонента личности, и вместе с тем природа все больше заполняет духовный мир человека, позволяя ему раздвинуть замкнутое пространство социума, восстановить связи с системой, которой он обязан своим происхождением.

Любая система развивается за счет упрощения своих элементов. Чтобы не превратиться в социальный винтик, человек нуждается в опоре вне социума и находит ее в природе.

В течение тысячелетий смысл человеческой жизни декретировался сверху религией или государством. Настало время опреде-

лить его самостоятельно. Интеллектуально приемлемый смысл жизни, вытекающий из эволюционной истории, заключается в том, чтобы поддерживать жизнь во всем ее разнообразии вместо того, чтобы уничтожать ее. (Из книги Иова: «Вот бегемот, которого Я создал с тобою... Пронзишь ли копьями кожу его и рыболовною острогою голову его? Положи на него руку твою и помни эту борьбу: впредь не будешь»).

На поприще охраны природы уже появились свои герои и мученики, террористы и бюрократы. Оно стало ареной большого бизнеса, крупной политической игры. Но это поприще, на котором каждый может сделать что-то полезное.

ЭВОЛЮЦИОНИЗМ КАК МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА ОХРАНЫ ПРИРОДЫ

ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Теория эволюции создавалась главным образом для решения трех фундаментальных проблем, представших перед человеком еще в глубокой древности: дискретности видов, их приспособленности к условиям обитания (адаптаций) и последовательности форм от простых к сложным (от низших к высшим).

Проблема вида вытекает из более общей проблемы категорий, которая была оновным источником разногласий между школами Гераклита (включая софистов) и Сократа—Платона. Она не разрешена и по сей день. Представление о прогрессе возникло на основе аристотелевской «лестницы природы» и в новое время нашло развитие в теории тройственного параллелизма морфологического усложнения, палеонтологической последовательности форм и эмбриогенеза. Однако в рамках традиционного эволюционизма прогресс не получил объяснения.

Более продуктивной оказалась разработка проблемы адаптаций. Античные философы связывали приспособленность организмов с исходной целесообразностью их строения (Протагор — Платон), отбором жизнеспособных форм среди исходного разнообразия сочетаний признаков (Эмпедокл — Лукреций) или изменением под воздействием среды (Аристотель). По крайней мере два последних объяснения можно считать экологическими. Идея адаптивного изменения под воздействием условий существования (прямого приспособления) господствовала до конца 19 в. (в СССР и Японии — до 60-х годов 20 в.). Ей отдали дань Э. Дарвин, Ж.-Б. Ламарк и Ч. Дарвин. Последний развил также идею косвенного приспособления — отбора случайных изменений, дающих преимущество в конкретных условиях. В том и другом случае взаимоотношения организмов со средой оказывались в центре внимания. Один из первых последователей Ч. Дарвина немецкий эволюционист Э. Геккель сделал их предметом особой дисциплины — экологии.

Четкого разделения между эволюционизмом и экологией не существовало вплоть до начала 20 в., когда Х. Де Фризом была выдвинута мутационная теория происхождения видов без участия среды. В сочетании с учением А. Вейсмана о носителе наследственности — зародышевой плазме, не подверженной влиянию внешних условий, мутационная теория вела к неэкологическому эволюционизму. Однако, возможность возникновения вида в результате одного мутационного акта остается спорной (как и

результаты экспериментов Де Фриза), в то время как наследственные изменения с незначительным фенотипическим эффектом («мелкие мутации») как раз и есть те «случайные уклонения», которые, по Дарвину, служат материалом для отбора. Таким образом, оказалось возможным соединение представлений о мутациях и отборе в одну теорию, названную синтетической.

В то время как теория Дарвина принадлежит классической биологии, науке по преимуществу описательной, в центре внимания которой находится организм во всей сложности его взаимоотношений со средой, синтетическая теория, используя, подобно физике, эксперимент и математическое моделирование, идет на значительные упрощения в отношении объектов исследования, которыми чаще всего оказываются модельные популяции и гены в условной среде из немногих факторов. В результате возник значительный разрыв между эволюционизмом и классическими дисциплинами, практикующими голистский подход—морфологией, палеонтологией и экологией, а эволюционный синтез все еще остается задачей будущего.

Непродуктивность редукционистского подхода доказывается хотя бы тем, что синтетическая теория нисколько не приблизилась к решению фундаментальных проблем вида, адаптации и прогресса. Объяснение видообразования случайным прерыванием потока генов между частями популяции не дает ключа к пониманию сложных видовых систем. Адаптация трактуется как следствие отбора случайных мутаций, хотя известно, что классический отбор действует на уровне организмов, свойства которых отражают опосредованную средой и развитием систему генетических факторов, а не отдельные мутации. Прогресс, после неудачной попытки сведения к адаптации (низшие организмы обычно превосходят высшие по приспособительным возможностям и эволюционной долговечности), вообще выпал из рассмотрения как антропоцентристское понятие. Экология как наука о системах, содержащих живые компоненты, также проиграла от разрыва с эволюционизмом, поскольку из системной триады — история, структура, функция — практически выпало историческое звено.

СИСТЕМНАЯ ТЕОРИЯ ЭВОЛЮЦИИ

Автор на протяжении 25 лет разрабатывает системную теорию эволюции*, связывающей развитие любой биологической системы с эволюцией систем более высокого порядка, в которые она входит в качестве элемента. Рассмотрение «сверху вниз», от

* Красилов В. А. Эволюция и биостратиграфия.— М.: Наука, 1977; Нерешенные проблемы эволюции.— Владивосток, 1986.

биосферы к отдельным экосистемам, сообществам, популяциям, организмам, генам выявляет причинные связи между событиями, которые традиционный взгляд «снизу вверх» воспринимает как случайные. В принципе системный подход может дать достаточно полное объяснение эволюционного процесса и поставить вопрос о его целях.

До недавнего времени представление о целенаправленности в природе относили к области метафизики, а не позитивной науки. Однако ситуация изменилась с развитием теории неравновесных процессов, которые в закрытых (изолированных) системах развиваются в соответствии с законом роста энтропии (вторым началом термодинамики), приближающим систему к равновесному состоянию. В открытых (живых) системах, согласно теореме И. Пригожина *, стационарное состояние соответствует минимальному производству энтропии. Все термодинамические системы могут, таким образом, рассматриваться как телеологические, стремящиеся к определенному состоянию, которое и является целью их развития. Например, биотическое сообщество, проходя в своем развитии серию промежуточных стадий, стремится к климаксному состоянию, выступающему в качестве цели. Аналогично генетическая система имеет целью формирование организма, воспроизводящего родительские признаки и благодаря этому в свою очередь способного к успешному размножению в составе популяции.

Это обстоятельство не было должным образом оценено позитивистской философией, выводящей телеологию за пределы научного познания. Термодинамика создавалась в те же годы, что и дарвиновская теория эволюции органического мира, но представление о телеологических системах в последней не нашло отражения. Вопрос о направленности эволюционных процессов был и остается открытым.

В предыдущих работах автора общая направленность эволюции биосферы была интерпретирована как процесс сокращения производства энтропии в открытой системе. Физический смысл производства энтропии в случае живых или содержащих живые компоненты систем заключается в отмирании живой материи в форме гибели организмов, омертвления тканей, опада, вымирания генетических линий и видов. Аналогично основные экосистемные параметры — биомасса, продуктивность, мортмасса, степень перекрытия трофических ниш (конкуренция), видовое разнообразие (показатель сложности структуры) могут быть соотнесены с термодинамическими параметрами и потенциалами — объемом, энтальпией, энтропией, внутренней энергией, свободной энергией. Приложение общих законов развития систем к

* Prigogine I. From being to becoming. San Francisco, Freeman, 1980.

экосистемам позволяет лучше понять природу эволюционных процессов, их направленность и объяснить с помощью ряда каузальных моделей, почему эволюция не остановилась на уровне бактериальных сообществ, а продвинулась дальше по пути наращивания все новых структурных этажей вплоть до человеческой цивилизации.

АДАПТАЦИЯ: МОДЕЛЬ НИОБЫ-ЛЕТО

Плодовитая Ниоба утверждала свое превосходство над малодетной Летó. Однако все двенадцать сыновей и дочерей Ниобы были сражены близнецами, рожденными Летó.

Адаптивная стратегия Ниобы — высокая продуктивность при низкой конкурентоспособности и высоком уровне смертности — свойственна ранним стадиям приспособления, когда быстро растущая популяция истощает трофические ресурсы, что ведет затем к резкому снижению численности. Процесс приобретает волновой характер, типичный для взаимодействий с отрицательной обратной связью. Подрывая основы собственного существования, популяция снова и снова проходит через «горлышко бутылки». При этом неизбежна утрата генов за счет дрейфа и, следовательно, нарушение харди-вайнберговского равновесия частот генов и генотипов. Хотя такая популяция может существовать неопреде-

Гибель детей Ниобы символизирует инадаптивную стратегию: высокая продуктивность при низкой конкурентоспособности и высокой смертности.

ленно долгое время, благодаря высокому репродуктивному потенциалу, позволяющему быстро восстанавливать численность, ее адаптивная стратегия может быть оценена как высокоэнтропийная и, следовательно, примитивная.

Наиболее яркие примеры резких колебаний численности (лемминг, песец и др.) дают экосистемы с относительно простой структурой (в частности, арктические). Принцип сокращения производства энтропии предопределяет их развитие в направлении более эффективного использования ресурсов, требующего усложнения трофической структуры и, как следствие, сужения трофических ниш — специализации ценотических популяций и стабилизации их численности, которое достигается с помощью морфофизиологических и этологических приобретений, составляющих сущность процесса приспособления.

Таким образом, системный подход изменяет представление о приспособленности, которое традиционно связывается с ростом численности. Если низкая приспособленность означает способность к выживанию и популяционному росту, то высокая — это способность к поддержанию популяционного равновесия.

ПРОГРЕССИВНОЕ РАЗВИТИЕ ОРГАНИЗМОВ: «ЛЕСТНИЦА ПРИРОДЫ»

Пытаясь перевести аристотелевскую лестницу природы с интуитивного уровня на осмысленный, отметим, что и одноклеточные водоросли, и люди способны к устойчивому существованию в пространстве и времени, но первые существуют за счет производства огромного числа почти идентичных копий, большая часть которых неизбежно гибнет до естественного завершения жизненного цикла, образуя «отходы производства», тогда как вторые стремятся сохранить каждое индивидуальное существование и не допустить «отходов» (если не считать рецедивов стратегии одноклеточных в регрессивные периоды войн и революций).

Высшие организмы отличаются от низших в первую очередь меньшим производством энтропии — омертвением живого вещества — в их популяциях. Все другие критерии имеют производный характер. В частности, половое размножение — показатель прогресса, поскольку способствует сохранению генотипов, несущих неблагоприятные в гомозиготном состоянии мутации и тем самым снижает уровень смертности, как и подвижность, забота о потомстве, интеллект, способность к обучению, предвидению и т. д. Эволюционный прогресс заключается в накоплении таких свойств, а человеческий вид обладает ими в большей степени, чем какой-либо другой. Вместе с тем развитие человеческой ци-

вилизации может рассматриваться как естественное продолжение эволюционных тенденций, идущих от одноклеточных. С повышением уровня организации функция сохранения индивида приобретает все большее значение по отношению к функции сохранения вида (генетической матрицы), которая у низших организмов достигается ценой уничтожения бесчисленного множества индивидов в ходе естественного отбора. Повышение ценности индивида сопровождается ослаблением естественного отбора и развитием негенетических средств передачи наследственной информации — обучения, развития симеотических систем, из которых формируется человеческая культура. Индивид, благодаря своему личному вкладу в культуру, получает потенциальное бессмертие, что и является конечной целью эволюционного прогресса.

ПРОГРЕССИВНОЕ РАЗВИТИЕ СООБЩЕСТВ: К БЕЗОТХОДНОМУ КРУГОВОРОТУ

Древнейшие биотические сообщества, существовавшие лишь в сравнительно узкой шельфовой зоне протерозойских морей, при относительно небольшой биомассе обладали очень высокой продуктивностью, о чем косвенно свидетельствует их воздействие на среду обитания: огромная мощность протерозойских кремнисто-железорудных формаций, тонкослоистая структура которых рассматривается как результат сезонной активности первичных анаэробных организмов, окисление атмосферы (появление примерно на том же стратиграфическом уровне первых красноцветных пород), исключительно высокое значение δ^{13} C в протерозойских известняках. В дальнейшем, при многократном увеличении биомассы (B) в связи с экспансией жизни, появлением наземной биоты, площадным расширением биосферы и увеличением ее мощности в вертикальном разрезе, не происходило адекватного увеличения продуктивности (P), отношение $\frac{P}{B}$ уменьшалось. Это первая фундаментальная закономерность прогрессивного развития.

В терминах термодинамики соотношение продуктивности и биомассы характеризует энтальпию системы — потенциал, равный сумме термодинамической температуры и произведения давления на объем. Если при увеличении объема (биомассы) происходит относительное уменьшение продуктивности (термодинамической температуры), то энтальпия при неизменной структуре (конкурентном давлении) остается постоянной.

Изменение отношения продуктивности к биомассе биосферы в целом достигается в результате двух взаимосвязанных процес-

сов — структурных изменений в экосистемах и стратегических изменений в популяциях. По традиционным представлениям, стратегия популяций направлена на повышение их приспособленности к условиям обитания, главным показателем которой служит скорость популяционного роста. Последняя определяется соотношением рождаемости и смертности, т. е теоретически может быть повышена увеличением плодовитости, снижением смертности или сочетанием того и другого. Фактически реализуются лишь две первые стратегии: энергетические ресурсы вкладываются или в плодовитость, или в защищенность особи, но лишь последняя дает сокращение производства энтропии.

Вторая закономерность заключается в том, что сокращение производства энтропии возможно лишь при условии эффективного использования энергетических (трофических) ресурсов среды, которое в свою очередь требует усложнения структуры биотического сообщества за счет увеличения разнообразия жизненных форм и соответствующих им экологических ниш. Хотя правило однозначного соответствия между экологическими нишами и таксонами несколько упрощает реальные соотношения (представители некоторых видов в онтогенезе переходят из одной ниши в другую, викарирующие виды занимают аналогичные ниши), тем не менее таксономическое разнообразие адекватно отражает сложность экологической структуры сообщества.

Следующие эволюционные правила указывают на усложнение экологической структуры биосферы в ходе геологической истории: а) при смене доминирующих групп флоры и фауны последующие группы, как правило, богаче жизненными формами, чем предыдущие. В этом можно убедиться, сопоставив цветковые растения с голосеменными, птиц с динозаврами или млекопитающих с териодонтами; б) появление новых доминирующих групп сопровождается появлением новых ниш, например, ниши антофильных животных с возникновением цветковых. В то же время исчезнувших экологических ниш неизвестно: опустевшие вследствие вымирания ниши вскоре восстанавливаются и заполняются аналогичными формами, что позволяет говорить об их потенциально непрерывном существовании в структуре биосферы.

Третья закономерность относится к структуре разнообразия. Для сокращения суммарного производства энтропии в системе биосферы необходимо, чтобы при общем росте разнообразия отношение высокоэнтропийных видов с высоким уровнем смертности к низкоэнтропийным видам изменялось в пользу последних. Для высокоэнтропийных видов характерны резкие колебания численности вследствие периодической массовой элиминации. Понятие неизбирательной элиминации введено И. И.

Шмальгаузеном* как качественно отличное от естественного отбора и ведущее к существенно иным эволюционным результатам. Аналогичные представления легли в основу теории двух видов отбора: r-отбора на повышение репродуктивного потенциала (при неизбирательной элиминации) и K-отбора на эффективность использования ресурсов среды в условиях конкуренции**. Промежуточные ситуации позволяют говорить о r — K-континууме. Тем не менее в общем разнообразии (S) можно с некоторой долей условности выделить компоненты r-стратегии (S_r) и K-стратегии (S_K). В прогрессивном развитии, следующем правилу сокращения производства энтропии, возрастает как S, так и S_K / S_r.

Четвертая закономерность состоит в снижении конкуренции (давления отбора) между видами по мере их специализации и уменьшения перекрытия экологических ниш. Параллельно развиваются мутуалистические отношения (например, зоофилия и зоохория, получившие широкое распространение, начиная с мелового периода), повышающие целостность биотического сообщества как системы. В предельных случаях интеграция достигает организменного уровня (подвижные генетические частицы вирусного происхождения, клеточные органеллы симбиотического происхождения, лишайники).

И, наконец, наиболее общей закономерностью можно считать повышение замкнутости биогенного круговорота веществ (пищевых цепей в экосистеме) и уменьшение отходов. Известно, что сообщества с относительно простой структурой — тундровые, пустынные — отличаются высоким производством мортмассы. В противоположность этому, в сложных экосистемах, примером которых могут служить тропические дождевые леса, «отходы» биологического цикла минимальны. Эти леса при всем их великолепии растут на крайне бедных почвах. По сравнению с лесами умеренной зоны они характеризуются низким уровнем омертвения тканей (относительно мало лигнитизированных тканей), опада вегетативных и репродуктивных органов. Широкое распространение зоофилии и зоохории делает процессы опыления и переноса диаспор почти безотходными. В историческом плане тропическим дождевым лесам современного типа предшествовали каменноугольные лепидофитовые леса, в которых производство мортмассы, судя по мощности угольных пластов, было значительно более высоким. В последующие периоды геологической истории угленакопление все больше сдвигалось во внетропические зоны.

* Шмальгаузен И. И. Факторы эволюции.— М.: Наука, 1968.
** MacArthur R. H., Wilson E. O. The theory of island biogeography.— Princeton, U. P., 1967.

В целом, прогрессивная эволюция на ценотическом уровне выражается в следующем изменении основных параметров:

— биомасса увеличивается;
— отношение продуктивности к биомассе сокращается;
— общее разнообразие увеличивается;
— конкурентное давление уменьшается;
— целостность системы возрастает;
— замкнутость биогенного круговорота веществ возрастает;
— производство мортмассы сокращается.

При этом экосистемные и популяционные процессы тесно взаимосвязаны, эволюция носит когерентный характер*. Однако геологическая летопись свидетельствует о том, что когерентная эволюция прерывалась некогерентными эпизодами — так называемыми великими вымираниями, или геобиологическими кризисами.

НЕКОГЕРЕНТНОЕ РАЗВИТИЕ: КРИЗИСЫ

Сущность некогерентных процессов заключается в том, что сложившаяся в результате длительной когерентной эволюции структура сообществ нарушается, и развитие популяции выходит из-под ее контроля. В геологической летописи они развиваются с определенной периодичностью, причем относительно короткие периоды совпадают с орбитальными периодами прецессий, наклона орбиты, эксцентриситета и их сочетаний — 24, 41, 96 и 413 тыс. лет, длинные — с периодами колебаний солнечной системы около галактической плоскости и обращения вокруг центра Галактики — 35 и 180 млн. лет (также их составляющими продолжительностью в 6 и 23 млн. лет), в ходе которых Земля испытывает гравитационные воздействия скоплений межзвездного вещества.

По ротационной теории** любые изменения параметров вращения Земли вызывают рассогласование вращения сфер (и в их пределах блоков или плит) различной плотности. В результате активизируются подвижки на границах земного ядра и мантии, мантии и литосферы, океанической и континентальной коры, вызывающие инверсии магнитного поля, активизацию разломов, магматизм, изменение рельефа геоида, колебания уровня моря и как следствие — перестройку атмосферной и океанической циркуляции, изменение глобального климата.

* Красилов В. А. Эволюция и биостратиграфия.— М.: Наука, 1977.
** Красилов В. А. Меловой период. Эволюция земной коры и биосферы.— М.: Наука, 1985.

Поскольку все эти процессы взаимосвязаны, в кризисные периоды возрастает общая нестабильность биосферы как системы, наложенной на внешние оболочки Земли. Если в устойчивых условиях эволюция (когерентная) направлена в сторону специализации, наиболее эффективного использования ресурсов, то в неустойчивых возникает противоположная тенденция — к расширению приспособительных возможностей. Менее эффективное использование ресурсов означает, что меньше видов может существовать совместно, в одной экосистеме — общая предпосылка сокращения разнообразия. Массовые вымирания — это, в сущности, способ регуляции разнообразия.

При создании геохронологической шкалы в середине 19 в. границы между геологическими эрами были проведены по резким спадам таксономического разнообразия, достоверность которых (в прошлом часто оспариваемая) подтверждена современными вычислительными методами. На границе палеозоя и мезозоя вымерло до 80% всех видов, на границе мезозоя и кайнозоя — 50%. Однако особое значение подобных рубежей опреде-

Схема ротационной геодинамики: с изменением скорости вращения Земли сферы и блоки различной плотности получают разное центробежное и угловое (W) ускорение. В результате изменяется гипсометрическая кривая *(верхний рисунок)*, уровень континентальной коры *(кружки)* относительно океанической *(косая штриховка)*. Проскальзывание на границах литосферы, мантии и ядра приводит к образованию расплавленного слоя *(точки)* в основании литосферы, проникающего по разломам к поверхности, а также инверсиям магнитного поля Земли.

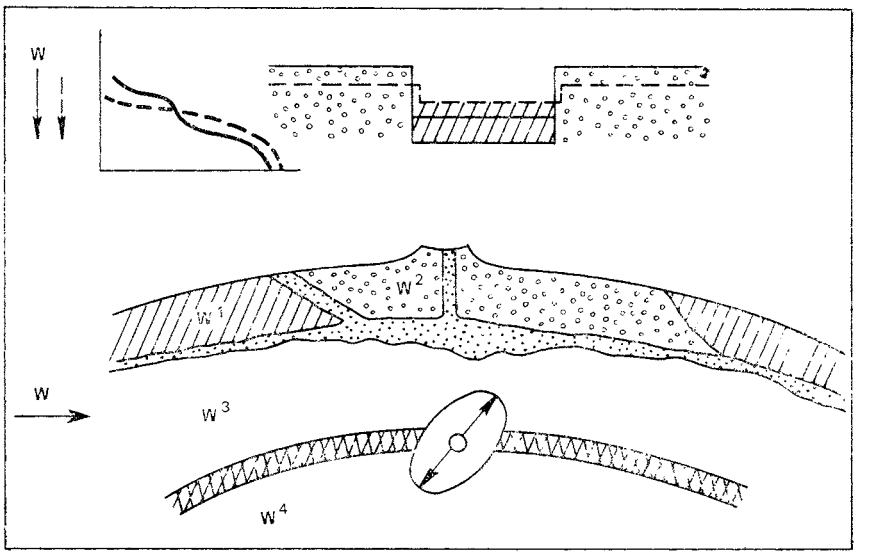
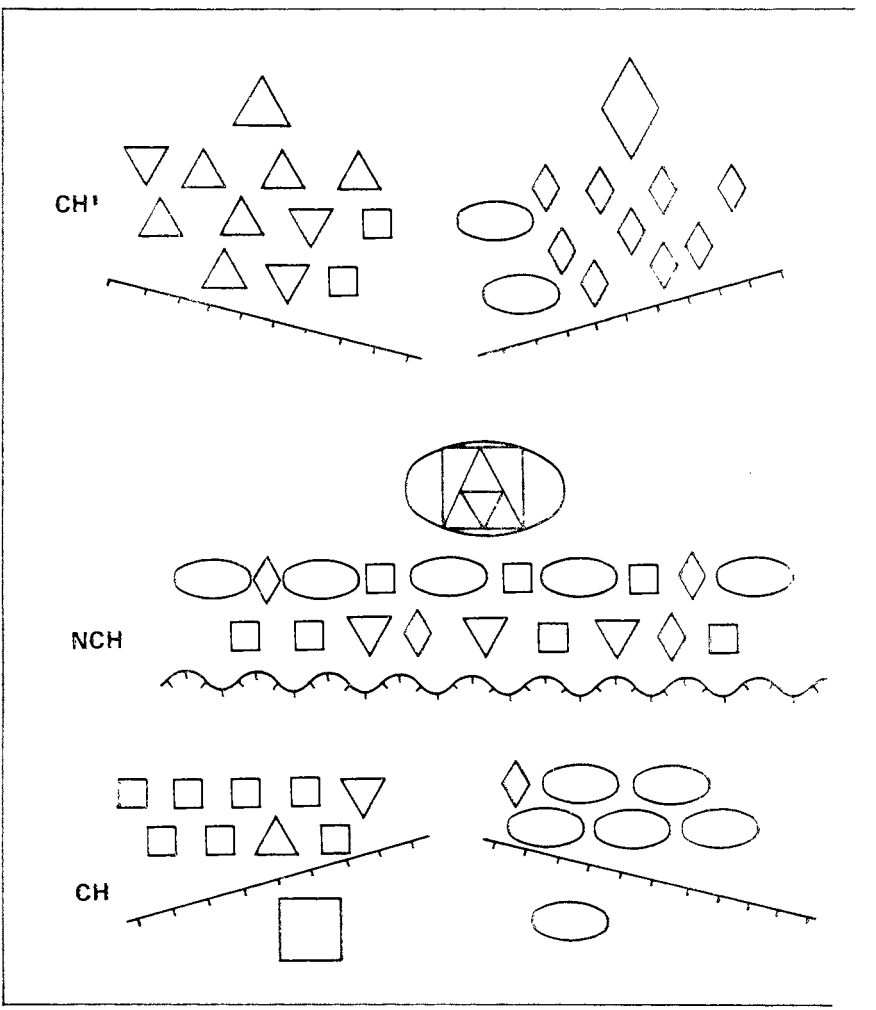
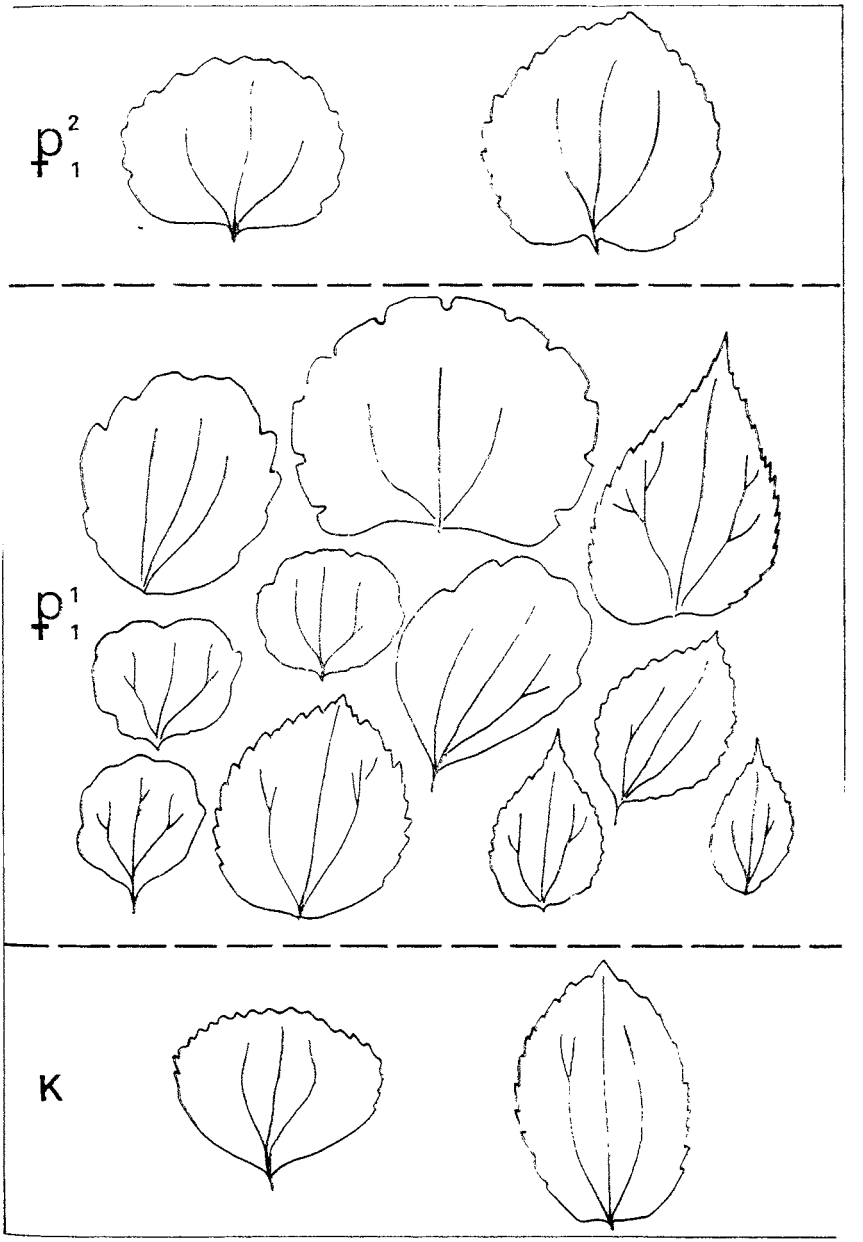


Схема иикла видообразования: первая когерентная фаза, СН (*внизу*)—различимы два вида (*квадрат и овал*) с редкими аберрантными формами (*треугольник и ромб*); некогерентная фаза, NСН—неоднородности среды не воздействуют на структуру полиморфизма (среда воспринимается как «тонкозернистая»), резко возрастает встречаемость аберрантных форм, формируется макрополиморфная популяция, (*овал, квадрат, треугольник, ромб*); следующая когерентня фаза, СН—среда приобретает грубозернистую структуру, дифференцируются виды (*треугольник и ромб*) с редкими атавистическими формами (*квадрат, овал*).



ема цикла видообразования (см. рис. 3) на примере листовых популяций ochodendroides. Некогерентная фаза на рубеже мела (К) и палеогена, ², P_1) около 65 млн. лет назад.



няющие вид от проникновения чуждого генетического материала, более не поддерживаются естественным отбором. В результате становится возможным слияние видов.

Действительно, кризисные популяции, как правило, характеризуются широким размахом изменчивости, выходящей за пределы видовой, а в ряде случае также и родовой нормы (например, вид Trochodendroides arctica из раннепалеоценовых отложений формы изменчивости которого были отнесены к нескольким родам*). Такие макрополиморфные виды распространяются очень широко, занимая различные биотопы. Гетерогенность среды не находит отражения в их структуре.

Однако по мере стабилизации условий и вхождения эволюции сообществ в когерентную фазу возникает тенденция к более эффективному использованию ресурсов среды. В пределах обширного ареала макрополиморфного вида происходит сегрегация генотипов, наиболее приспособленных к тому или иному биотопу гетерогенной среды и в конечном счете он распадается на ряд дискретных форм, дающих начало новому витку адаптивной радиации. На ранних стадиях этого процесса выделяющиеся виды еще сохраняют значительную общность: в терминах Лотси — Вавилова*, образуют серию «жорданонов» в пределах исходного «линнеона».

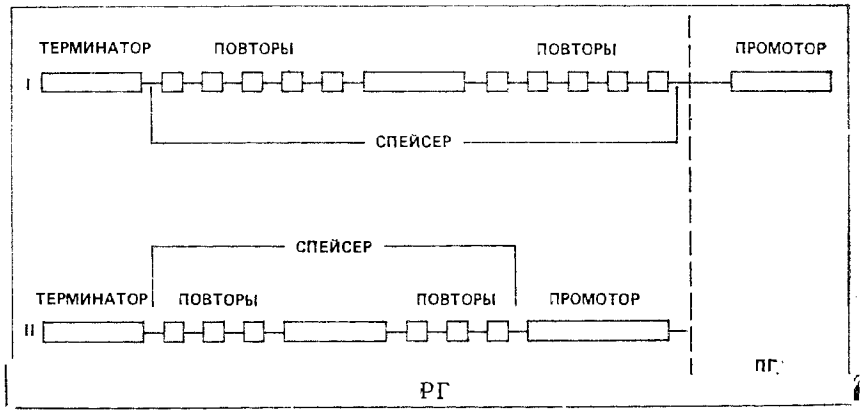
ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ И СТРУКТУРА ГЕНОМА

Обращаясь к отражению популяционных процессов на генетическом уровне, отметим зависимость между транскрипционной и трансляционной активностью генов, которая обеспечивает структурно-функциональное единство генома как системы. Ген в свою очередь представляет собой сложную систему функциональных и регуляторных элементов. Их взаимодействие в значительной мере определяется пространственной организацией, т. е. числом пар оснований, расположенных между ними. Точность воспроизведения этой структуры зависит от ее функционирования, которое в свою очередь определяется геномной средой.

Если функционирование изменяется направленно в связи с адаптацией к определенным условиям, то можно ожидать соответствующих направленных изменений структуры в ряду клеточных поколений. Например, могут выпадать или добавляться пары оснований между регуляторными и функциональными элементами, что повлияет на скорость прохождения сигнала и последовательность включения генов.

Описана, в частности неполная репликация повторных элементов генома в политенных хромосомах, которая может повлиять на активность структурных элементов в соответствии с эффектом положения. Однако речь идет о принципиальной схеме: конкретные механизмы перестройки структуры в связи с функционированием недостаточно изучены.

Схема изменения структуры и функционирования генома в результате сокращения тандемных повторов на участке, разделяющем два гена, позднореплирующийся ген (*I*), перемещается в категорию ранореплицирующихся (*II*, РГ)



ОТ ЭВОЛЮЦИОННОГО К ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ ВРЕМЕНИ: СУКЦЕССИЯ

Путь к построению общей теории развития и функционирования экосистем, на основе которой возможны оценки их состояния, прогноз и управление в области природопользования, проходит через пограничную область взаимопроникновения фундаментальных концепций теории эволюции и экологии. Однако связь между ними нередко теряется из-за различных масштабов времени. В качестве связующего звена между эволюцией и экологическими процессами выступает сукцессия — последовательность стадий формирования экосистемы или биотического сообщества.

Термином сукцессия обозначают всякую последовательность (в том числе эволюционную) или, в узком смысле, процесс автогенетической смены стадий, называемый также ценотической серией. Далее речь пойдет об автогенетических сукцессиях, ко-

* Красилов В. А. Цагаянская флора Амурской области.— М.: Наука, 1976; Krassilov V. A. Evolutionary Theory, 1989, 9'37—44.
* Вавилов Н. И. Линнеевский вид как система.— Л.: Наука, 1967.

торые начинаются пионерной стадией, проходят ряд промежуточных — сукцессионных — стадий и завершается зрелым — коренным сообществом, или климаксом. В ходе ценотической сукцессии происходит последовательное замещение пионерных и сукцессионных видов климаксными. Виды первой стадии (эксплеренты, по классификации Л. Г. Раменского*) — активные колонисты, осваивающие новые и опустошенные в результате катастроф биотопы. Наблюдения после извержений вулканов показали, что первичное накопление органического вещества происходит за счет «дождя» из насекомых, за ними следуют споровые растения, среди которых нередко преобладают представители филогенетически древних групп. Для эксплерентов характерна высокая продуктивность вегетативных и генеративных органов, рассчитанная на покрытие огромных потерь при распространении. В ходе сукцессии возрастает роль конкурентомощных видов (виолентов, по Раменскому), более эффективно использующих трофические ресурсы и производящих, как правило, гораздо меньшее число относительно крупных диаспор. Эти виды доминируют на климаксной стадии. Изменение адаптивной стратегии обусловлено переходом от r-отбора на ранних стадиях сукцесии к K-отбору на поздних.

Пионерные и сукцессионные виды обладают более высокой продуктивностью (P) относительно биомассы (B), чем климаксные. Поэтому в ходе сукцессии при общем увеличении биомассы отношение P/B сокращается. В этом же направлении сокращается и производство мортмассы, выводимой из биогенного круговорота веществ.

Разнообразие сообщества (S) складывается из сукцессионных (S_s) и климаксных (S_c) компонентов. По мере вхождения климаксных видов в сукцессионные группировки разнообразие возрастает. Поскольку ценотические процессы протекают в условиях периодических колебаний природной среды, сукцессионые группировки не вытесняются климаксными, а образуют с ними сложную систему, находящуюся в состоянии динамического равновесия. Разнообразие в такой системе максимально, так как наряду с развитием (S_s) сохраняется относительно высокий уровень (S_s). Смещение равновесия в сторону моноклимакса дает некоторое сокращение (S) в результате выпадения сукцессионных видов.

Таким образом, ценотическая сукцессия подчиняется правилу сокращения производства энтропии в открытой системе. Более того, для сукцессии характерны те же закономерности изменения адаптивной стратегии видов, продуктивности, разнообразия

* Раменский Л. Г. Введение в комплексное почвенно-биологическое исследование земель. М., 1938.

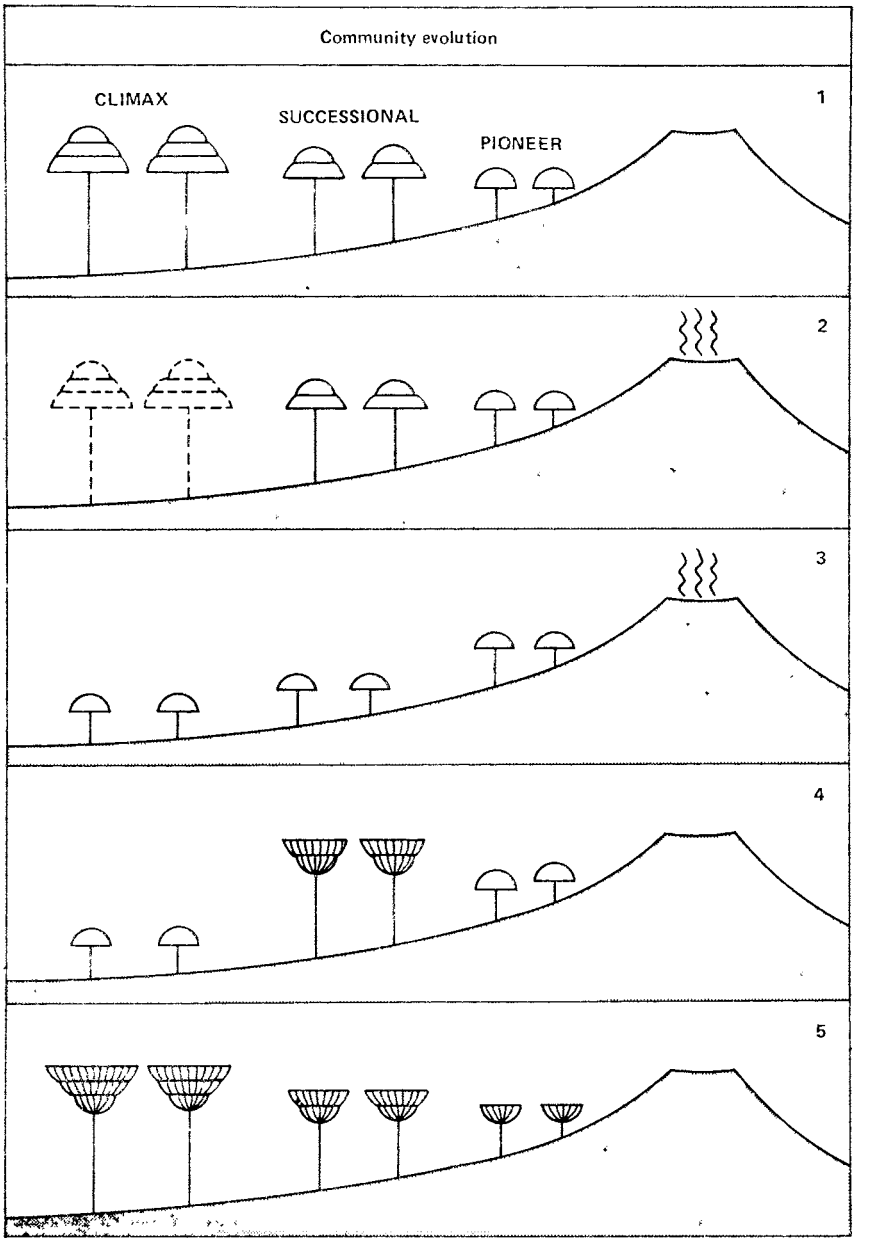
и соотношения компонентов разнообразия, что и для эволюционного прогресса.

Хотя слишком прямолинейное сопоставление сукцессии с онтогенезом неоднократно подвергалось критике, и моноклимакс, в отличие от дифинитивной стадии организма, в природе выступает большей частью в качестве потенциального состояния сукцессионной системы, все же повторение эволюционных закономерностей в сукцессии позволяет провести аналогию с биогенетическим законом — повторением филогенетических стадий в индивидуальном развитии. Как на организменном, так и на ценотическом уровне биогенетический закон отражает общую направленность развития открытых систем и позволяет перейти от эволюционного времени (сотни тысяч и миллионы лет) к экологическому (сотни и тысячи лет).

СУКЦЕССИЯ И ГЕОБИОЛОГИЧЕСКИЕ КРИЗИСЫ: СНЯТИЕ КЛИМАКСНОЙ ФАЗЫ

Кризисы геологического прошлого, как мы уже отмечали, проявляются в вымирании доминирующих видов. Модель снятия климаксной фазы, основанная на сукцессионных закономерностях, помогает понять избирательный характер вымирания. Детальный анализ событий, зафиксированных геологической летописью, показывает, что в начале некогерентного развития разнообразие несколько возрастает. Аналогично, при частых стихийных воздействиях (например, ураганов на тропические леса) и на ранних стадиях антропогенной трансформации наблюдается увеличение разнообразия преимущественно сукцессионных видов. Более глубокие нарушения затрагивают главным образом климаксный компонент. Сукцессия задерживается на одной из промежуточных стадий, не достигая климакса. При длительном сохранении такой ситуации климаксная фаза оказывается как бы снятой — вымирают преимущественно климаксные виды, которые и являются наиболее характерными доминирующими видами своей эпохи.

Схема снятия климаксной фазы ценотической сукцессии: *1* — устойчивое развитие, пионерная, сукцессионная и климаксная фазы; *2* — нарушение устойчивого развития, сукцессия прерывается на промежуточной стадии, климаксные виды под угрозой; *3* — кризис, пионерные виды занимают все экологическое пространство; *4* — стабилизация среды, пионерные виды дают начало новым формам; *5* — устойчивое развитие, новые формы заполняют экологические ниши.


Community evolution
CLIMAX
SUCCESSIONAL
PIONEER
1
2
3
4
5

ЧЕЛОВЕК И ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ

истемная теория эволюции рассматривает развитие человечес-
ой цивилизации как непосредственное продолжение процессов,
редшествовавших появлению человека.

Как мы уже отмечали, прогрессивная тенденция историчес-
ого развития заключалась в сокращении уровня смертности —
охранении каждого индивидуального существования. У чело-
ека она вышла на сознательный уровень в виде категорическо-
о императива, предписывающего отношение к индивиду как це-
и, а не средству.

Религия и государство закрепили иерархические отношения,
уществующие в более или менее развитом виде у всех высших
кивотных. Ослабление конкуренции и естественного отбора,
акже сквозная эволюционная тенденция, воплотилось в этичес-
ие нормы.

Половой отбор в течение миллионов лет способствовал раз-
витию индивидуальности (невозможно выбирать среди неразли-
имых особей), кульминацией которого стала уникальность
брачного партнера как основа любовного чувства.

Проблема предотвращения близкородственных брачных свя-
зей — инцеста — решалась путем структурирования популяций
кивотных и первобытных людей (у которых на этой почве сло-
кился родовой строй), поляризации родственных и брачных от-
ношений, нашедшей отражение в мифах всех народов (Шу и
Гефнут, Адам и Ева, Эдип и Иокаста и т. д.).

Как у обезьян, так и у людей длительный контакт между
разнополыми особями ведет к ослаблению полового влечения
(развивается чувство близости, напоминающее родственное и
вступающее в конфликт с половым) и поискам нового партне-
ра — обычный по сию пору источник семейных драм.

Несмотря на столь очевидную преемственность, современный
человек решительно отделяет себя от животных предков, отож-
дествляя животное начало с низменным и монополизируя пред-
ставление о нравственности (на самом деле в большей степени
свойственной животным, отношения между которыми регулиру-
ются жесткой системой врожденных и приобретенных этических
предписаний, которая у человека оказалась в значительной мере
размытой). Чтобы уяснить причину этого аномального явления,
вспомним, что современные религиозно-нравственные системы
формировались в борьбе с тотемизмом и его зооморфными ку-
мирами (см. выше). Основательно возведенная стена между че-
ловеком и природой — наследие того давнего соперничества.

Противопоставление духовного начала природному породило
хроническую шизофрению, от которой человечество страдает уже

много веков. Оставив иллюзию собственной исключительности, мы увидим, что законы эволюции действительны и для человеческого вида.

Человек появился не поздней стадии эволюции биосферы как элемент ее биологического разнообразия. Подобно другим биологическим видам, человек на первых этапах своей эволюции взаимодействовал со средой обитания по принципу управления с обратной связью с неизбежными при этом резкими колебаниями численности. Численность регулировалась «сверху»—хищниками и паразитами, «сбоку» — конкурирующими видами, «изнутри»—людоедством и умерщвлением детей—инфантицидом (следы которого тоже остались в мифах) и «снизу»—истощением пищевых ресурсов. По мере того, как первые три способа отступали на задний план, последний приобретал все большее значение.

В течение многих тысячелетий проблема ресурсов решалась преимущественно путем миграций, кульминацией которых было «великое переселение народов» в 4—8 веках н. э. В дальнейшем миграционная стратегия и связанный с нею захват территорий все более утрачивали адаптивный смысл. Параллельно утверждался альтернативный способ решения той же проблемы — повышение эффективности использования ресурсов. Это магистральный путь адаптации всех видов с той разницей, что у человека, наряду с морфофизиологическими, развивались технологические механизмы адаптации, которые около 30 тыс. лет назад (появление человека современного обликиа) приобрели основное значение.

(—) сокращение, (+) увеличение.

Сопоставление тенденций изменения популяционных и ценотических параметров:

α — размеры популяции, V — рождаемость, μ — смертность, x — скорость полового созревания, λ — продолжительность жизни, B — биомасса, P — продуктивность, M — мортмасса, S — разнообразие, C — замкнутость круговорота

	Эволюционный прогресс	Ценотическая сукцессия	Геологический кризис	Воздействие человека
α	—	—	+	+
V	—	—		+
μ/α	—	—		+
λ	+	+		—
x/λ	—	—	+	+
B	+	+	—	—
P/B	—	—	+	+
M/B	—	—	+	+
S	+	+	—	—
C	+	+	—	—

Создав техносферу — метаэкологическую систему, наложенную на биосферу — человеческий вид частично вышел из-под контроля природной среды. В период ускоренного научно-технического прогресса возможности технологической адаптации казались безграничными. Однако анализ современной ситуации приводит к менее оптимистичным выводам.

Человек систематически сокращает биологическое разнообразие — частью целенаправленно, истребляя «вредные» виды, в главным образом в результате чрезмерной эксплуатации природных ресурсов и нарушения местообитаний. В течение последних двух десятилетий видовое разнообразие растительного и животного мира сократилось примерно на одну пятую часть — цифра, сопоставимая с массовыми вымираниями геологического прошлого.

За тот же период сведение лесов и опустынивание измеряется сотнями миллионов га. Поскольку сельскохозяйственные угодья и вторичные леса значительно уступают по биомассе первичным лесам, это означает сокращение биомассы на сотни миллиардов тонн. У культивируемых видов увеличение продуктивности ценой потери природной приспособленности достигается в результате направленной селекционной работы. Таким образом, последствия человеческой деятельности целиком укладываются в схему кризисов, для которых характерно упрощение структуры экосистем, сокращение разнообразия, увеличение продуктивности относительно биомассы, общее уменьшение приспособленности (см. выше).

Население удвоилось по сравнению с началом 20 в. В 90-х годах ожидается увеличение еще на 960 миллионов. При этом общая площадь пашни едва ли возрастет. Во второй половине 80-х годов рост населения составлял около 2% общей численности в год, тогда как продукция зерновых увеличивалась на % в год. Следовательно, технологический прогресс уже не в состоянии обеспечить растущие потребности населения. Сотни миллионов людей голодают — больше, чем все население Земли в доиндустриальную эру. Технологические новшества последних десятилетий — использование ядерной энергии, массированное применение агрохимикатов — нанесли огромный ущерб людям и природной среде. Технологический прогресс из средства адаптации превращается в свою противоположность (подробнее об этом в следующем разделе).

Наряду с биологическим стремительно сокращается разнообразие жизненных укладов и культурных традиций. Коренное население тундры, лесных зон, пустынь безвозвратно утрачивает навыки традиционного природопользования.

Развитие по кризисной схеме неизбежно ведет к разрушению биосферы, попытке замены ее техносферой. Логика этого про-

цесса требует подавления природного начала в самом человеке, жесткой регламентации биологических проявлений, проведения широких евгенических мероприятий и, в конечном счете, роботизации людей, которая частично уже была осуществлена в тоталитарных государствах.

Если такой путь развития представляется нежелательным, то остается лишь одна возможность — переключение с кризисной схемы на прогрессивную, иначе говоря, подчинение человеческой деятельности целям сохранения биосферы. Для этого необходимо следовать природе в определении стратегических целей материального и духовного развития. Афористически эти цели можно представить следующим образом:

От роста к равновесию

У примитивных организмов стратегия выживания основана на росте численности, у высокоорганизованных — на поддержании популяционного равновесия. Для многих поколений людей прогрессивное общественное развитие прочно ассоциировалось с популяционным и экономическим ростом. Этому способствовало постоянное военное противостояние. Сейчас открывается возможность пересмотреть стратегию роста в пользу равновесия. Настоятельной необходимостью становится разумное семейное планирование. Если человечество хочет избежать регуляции численности «снизу» — истощением ресурсов, то необходима регуляция «изнутри», и по возможности не людоедскими методами.

Рост рождаемости входит в неизбежное противоречие с заботой о потомстве — основным показателем прогрессивного развития. Материальные и духовные ресурсы, вкладываемые в заботу о потомстве, делятся пропорционально числу детей — чем их больше, тем меньше доля каждого. Неравное распределение заботы (например, наследование семейного состояния старшим сыном) относится к числу самых жестоких форм социальной несправедливости — причины стольких человеческих трагедий. Это, в сущности, неявный инфантицид.

В США общество «Отрицательного роста населения», возникшее в 1991 г., считает оптимальным для этой страны население около 125 — 150 миллионов (сейчас 250 миллионов, к 2050 г. ожидается 400 миллионов). Эта цифра достижима при сокращении рождаемости от современного уровня 2,1 до 1,5 детей на семью*.

* Sierra, 1991, p. 27.

Экономика: эволюционная модель

Приверженность идее роста заставляет рассматривать любое сокращение производства как экономический кризис. Здесь, однако, кризис рассматривается как нарушение нормального развития, а последнее оценивается исходя из системной природы экономики, подчиняющейся общим для всех систем законам (замечу, что каждой экономической системе свойственны свои достоинства и недостатки; в частности, социалистическая система оказалась нежизнеспособной не столько по своей природе, сколько из-за насильственного подчинения определенным идеологическим целям; во всяком случае, как мы могли убедиться на собственном опыте, самое худшее — это отсутствие системы в экономике).

В эволюционном плане экономика начинается с непосредственного потребления легко доступных ресурсов — «подножного корма». Следующий шаг — появление примитивных технологий, которые можно подразделить на технологии добычи и технологии переработки. Технологии добычи, несомненно, древнее — к ним относятся все охотничьи и боевые приемы (последние связаны с защитой территории как ресурса или с половой конкуренцией, т. е. борьбой за репродуктивные ресурсы), включая орудийную деятельность — использование камней, палок и т. п.

У человека развитие технологий добычи на ранних этапах эволюции также значительно опережало переработку. В частности, неандертальцы и типичные сапиенсы («охотники на оленей») различались главным образом по технологиям охоты. Охотничьи и тесно связанные с ними военные технологии интенсивно развивались до тех пор, пока захват территорий был основным решением ресурсных проблем.

В то же время технологии переработки у животных крайне рудиментарны (например, недавно приобретенная привычка мыть картофель у японской макаки) и, в сущности, составляют основное отличие современного человека от других видов. Технологии переработки, позволяющие привлечь новые ресурсы и сократить отходы, определяют магистральную линию прогрессивного развития экономики, которое может быть оценено по разнообразию производственных процессов, длине технологических цепей и замкнутости циклов. Аналогия с биологическим разнообразием, длиной трофических цепей, и замкнутостью биогенного круговорота веществ в экосистемах очевидна. Внедрение все новых технологий увеличивает дистанцию между ресурсами и их потреблением, надстраивая технологическую пирамиду, которая в основных чертах подобна природной трофической пирамиде.

Эволюцию экономической системы можно уподобить экологической сукцессии. На пионерной стадии преобладают малоспециализированные технологии добычи, эффективность использования ресурсов невысока. На промежуточных стадиях внедряются более эффективные технологии переработки. Климаксная стадия характеризуется преобладанием высокоспециализированных технологий. Устойчивость системы обеспечивается сосуществованием в ней различных эволюционных (сукцессионных) стадий. Менее устойчивы варианты с преобладанием пионерных стадий (развивающиеся страны) или климаксной стадии (японский вариант). Критическая ситуация в СССР (и в меньшей степени в других странах социалистической ориентации) сложилась в результате выпадения промежуточных стадий. Переход от сырьевых отраслей непосредственно к наиболее капиталоемким технологиям тяжелой индустрии породил множество проблем в области производительности труда, использования ресурсов, переработки отходов и экологической безопасности. Кризисные процессы, как и в природе, ведут к задержке развития на пионерной стадии и снятию климаксной стадии специализированного, конкурентоспособного производства.

Прогрессивная эволюция экономики может рассматриваться как процесс негэнтропийный, поскольку сложность системы возрастает и в то же время снижается такой показатель скорости производства энтропии, как скорость производства отходов. Вместе с тем встречный энтропийный процесс — рост амортизационных отчислений — тормозит и на какой-то стадии может полностью блокировать прогрессивное развитие. Способ преодоления этого препятствия найден сравнительно недавно. Он заключается в смещении капиталовложений в сторону научно-технических разработок и программных средств производства по отношению к аппаратным средствам, в чем и заключается особенность экономики «постиндустриальной эры».

ГЛОБАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Озабоченность глобальными экологическими проблемами (отразившаяся, в частности, в подписании международных Конвенций по климату, и биоразнообразию в июне 1992 г.).—примечательная черта нашего времени. Люди все более ощущают себя обитателями одной планеты, обязанными во имя будущего объединить усилия для решения стоящих перед ними насущных проблем. К сожалению, понимание этих проблем неадекватно желанию разрешить их самым простым и быстрым способом — разрыв, который может привести к нежелательным последствиям.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ

Проблема глобальных климатических изменений оказалась в центре внимания в связи с ожидаемым потеплением, вызванным техногенными выбросами парниковых газов, в первую очередь CO_2*.

Парниковый эффект — разогревание нижних слоев атмосферы — возникает в результате поглощения отраженного теплового излучения поверхности Земли молекулами углекислого газа, водяного пара, метана, хлорфторуглеродов и некоторых других газов (относительный вклад в парниковый эффект: CO_2 — 60%, CH_4 — 15%, N_2O — 5%, O_3 — 8%, ХФУ-11 — 4%, ХФУ-12 — 8%). Хотя метан дает гораздо больший парниковый эффект, чем углекислый газ, последний более устойчив в атмосфере и выбрасывается в огромных количествах — в объеме около $8 \cdot 10^{12}$ кг ежегодно при сжигании угля, нефти и (в меньшей степени) природного газа. Предполагается, что накопление CO_2 в атмосфере приведет к потеплению, которому будут сопутствовать таяние полярных льдов, подъем уровня Мирового океана, затопление густонаселенных приморских низменностей и целых островных государств, опустынивание, сокращение летних осадков на 15—20% в основных сельскохозяйственных районах от американского среднего запада до Средиземноморья и Западной Австралии.

Такого рода опасения были существенно подкреплены обнародованным в 1990 г. докладом первой рабочей группы Международного пленума по климатическим изменениям, составленным 170 авторитетными специалистами из 25 стран (и еще 200 ученых были привлечены к рецензированию доклада). По их единодушному мнению, парниковый эффект уже дал потепление на 0,3—0,6 (0,5)°С с конца 19 в. Удвоение содержания CO_2 в атмос-

* Будыко М. П. Природа, 1986, 8:14—21

фере произойдет к 2035 г. Соответствующее глобальное потепление составит от 1,5° до 4,5°С, скорее всего около 2,5°С. К этому времени ожидается подъем уровня моря от 8 до 29 см (около 20 см) и до 65 см к 2100 г. На обширных пространствах Евразии и Северной Америки, включая основные житницы, установится летнесухой климат.

Для предотвращения пагубных последствий климатических изменений предполагается снизить выбросы двуокиси углерода, окислов азота и хлорфторуглеродов на 60%, метана на 20%. Эти рекомендации, по-существу, означают крутой поворот в адаптивной стратегии человека. Раньше человек боролся с холодом, теперь начинает бороться с теплом. Раньше он перестраивал свою деятельность, приспосабливаясь к изменениям среды, теперь перестраивает для сохранения статус-кво.

На национальном уровне 15 стран ответственны за 77% выбросов парниковых газов. Среди них на первом месте США (17%) и СНГ (около 13%). Сумарный вклад развивающихся стран — около 46%.

В то же время роль парникового эффекта в климатических процессах последних десятилетий далеко не бесспорна. Так, 40-е — 60-е годы, первый этап массивных выбросов CO_2, ознаменовались заметным похолоданием. Резко возросшие техногенные выбросы 80-х, по сверхточным спутниковым измерениям за десятилетие (1979—1988 гг.), не дали парникового эффекта*.

Здесь, как и в других случаях, обнаруживается несостоятельность редукционистского подхода. Невозможно прогнозировать многофакторный процесс с помощью однофакторной модели.

Природные циклы

Глобальный климат зависит в первую очередь от общего количества тепла, получаемого атмосферой и его распределения по поверхности планеты. Первое в свою очередь связано со светимостью Солнца, эксцентриситетом земной орбиты, выделением тепла недр, альбедо земной поверхности и атмосферы, парниковым эффектом. Ни один из этих факторов не остается постоянным. На фоне общей тенденции к увеличению светимости Солнца проявляются ротационные и магнитные 22-летние и более продолжительные циклы в 100, 200 и 400 лет. Достоверно установлена связь между пиками солнечной активности (включая последний, 1989 г.) и глобальными потеплениями, тогда как ее минимуму в 1640—1720 гг. соответствует «Малый ледниковый период»—общее похолодание на 1°С.

* Spencer R. W., Christy J. R. Science, 1990, 247:1558—1562.

Альбедо земной поверхности и атмосферы — наиболее мощный регулятор теплового режима, зависит от распределения суши и моря, гор, характера горных пород и растительности, величины полярных ледниковых шапок, вулканической пыли, аэрозолей и облачности (альбедо 0,6—0,9). Поднятие хребтов Альпийско-Гималайского пояса и обширных плато (Тибет, Колорадо) с их вечными снегами, скудной растительностью, известняковыми утесами (альбедо 0,56) в сочетании с регрессией, распространением травянистой растительности (альбедо почти вдвое выше, чем у древесной), могло дать похолодание, достаточное для начала оледенения. В дальнейшем постоянный ледяной покров превращается в доминирующий фактор, усиливаемый оскудением растительности и развитием низкоширотных пустынь.

Сопутствующее этим процессам уменьшение облачности может выполнить функции обратной связи, вызывая встречную тенденцию изменения альбедо. Роль растительности заключается еще в устьичной транспирации, увеличивающей облачность в летнее время. Пока не ясно, в какой мере облачность может компенсировать другие факторы альбедо, но описанная выше схема в принципе объясняет как направленное изменение, так и колебания температуры земной поверхности.

Вулканизм также может рассматриваться как фактор альбедо, однако его действие оказывается неоднозначным, так как вулканическая пыль уменьшает альбедо ледников, но изменение прозрачности атмосферы стратосферными аэрозолями дает обратный эффект. Поэтому результат зависит от географического положения и характера вулканизма. Кислый и щелочный игнимбритовый вулканизм генерирует больше силикатной пыли и меньше аэрозолей (которые к тому же быстро адсорбируются пылевыми частицами), чем андезитовый вулканизм, влияние которого на климат может оказаться более сильным даже при относительно небольшом масштабе извержений. Один из самых сильных в истории взрыв вулкана Тамбора в Индонезии (фонолитовые игнимбриты) дал температурную аномалию — 0,7°С в северном полушарии в 1815—1816 гг. Кракатау (дацитовая лава) вызвал понижение температуры на 0,25—0,4°С в течение двух лет. Сравнительно небольшое извержение вулкана Агунг (андезито-базальтовая лава) сопровождалось в 1963—1964 гг. температурными аномалиями около 0,28°С в тропиках и 1,3°С в высоких широтах, в то время как недавняя активность вулкана Св. Елены (дацитовые игнимбриты), расположенного на 46° с. ш., не имела глобальных климатических последствий.

Еще недостаточно изучено воздействие на климат магнитного поля Земли. По существующим представлениям, геомагнитные полюса действуют как воронки, по которым заряженные частицы

стекают в нижние слои атмосферы. Изменение интенсивности магнитного поля может, следовательно, влиять на величину и географическое распределение ионной радиации.

Широтное распределение тепла определяется сложным взаимодействием астрономических и географических факторов. Продолжительность астрономическиих сезонов зависит от эксцентриситета и прецессионных циклов, сезонная амплитуда температуры — главным образом от наклона эклиптики. Периодические колебания этих параметров лежат в основе астрономических теорий оледенения, первая из которых предложена М. Миланковичем в 1920 г.

Изучение ритмичности ленточных глин, карбонатонакопления, а также климатически зависимых соотношений изотопов кислорода и углерода в целом подтверждает теорию Миланковича. Чаще всего обнаруживается периодичность порядка 23, 41, 100, 450 тыс. лет. Первые две цифры соответствуют циклам наклона эклиптики и прецессии, причем наклон эклиптики влияет главным образом на обогрев полярных областей, прецессионный цикл важнее в средних широтах. Наиболее отчетливы 100-и 400—500-тысячелетние циклы. Они могут быть также связаны с изменением скорости вращения Земли. По данным моделирования и сравнительной планетологии, ускорение вращения ведет к сужению тропической зоны (до $\pm 15°$), увеличению широтного градиента, широтных и сезонных климатических контрастов.

Астрономические факторы играют роль пусковых механизмов, климатический эффект которых в очень большой степени зависит от географической ситуации. В силу этого орбитальные пертурбации в одних случаях почти неощутимы, в других имеют далеко идущие климатические последствия.

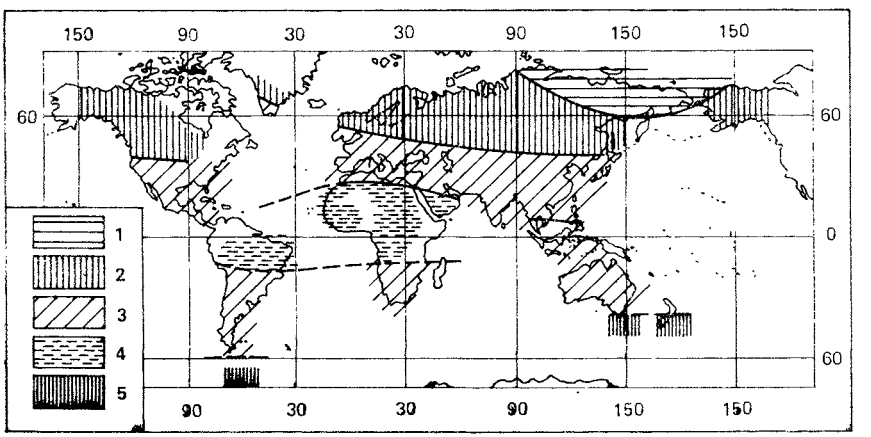
К географическим факторам относятся топографические особенности суши и дна океанов, влияющие на перенос тепла воздушными и водными течениями. Идеальная система течений определяется всего двумя факторами — температурным градиентом и кориолисовой силой, реальная — топографической неоднородностью земной поверхности. В истории Земли чередовались геократические (континентальная кора поднята над уровнем моря) и талассократические (континенты частично погружены ниже уровня моря) периоды, которым приблизительно соответствуют смены ледникового и безледникового климата. Для последних характерны широтные моря Тетического пояса, на месте которых сейчас — в одну из геократических ледниковых эпох — поднимаются высочайшие горные массивы. Причину чередования следует, по-видимому, искать в изменении скорости вращения Земли, при котором блоки континентальной и океанической коры, имеющие различную плотность, получают различное центробежное ускорение.

Для безледникового климата характерны термогалинная циркуляция океанических вод (теплые соленые глубинные воды), сухая экваториальная зона, широкая — до 50° с. ш.—зона летне-сухих субтропиков, распространение древесной растительности далеко за пределы полярного круга.

Переход к ледниковому климату и психросферной (с холодными глубинными водами, формирующимися вблизи полюсов) океанической циркуляции связан в первую очередь с увеличением альбедо земной поверхности в результате поднятия континентов, с окраин которых схлынули мелководные моря — источник теплых соленых вод, и горных хребтов на месте сомкнувшихся тетических морей. Образованию постоянных ледяных шапок способствовало открытие пролива Дрейка и формирование циркумантарктического течения — термальная изоляция Антарктиды. С открытием Гибралтарского пролива в Атлантике появились воды средиземноморского происхождения, которые, пополняя Гольфстрим, способствовали образованию североатлантических глубинных вод, проникающих далеко на юг и вносящих свой вклад в циркумантарктическое течение. Таким образом, сложилась новая планетарная система океанической циркуляции, обеспечивающая устойчивость ледникового режима.

Вместе с тем взаимоотношения между водными массами различного происхождения в океане, температурой поверхностных вод, оледенениями на материках и в океанах весьма сложны. В частности, материковое оледенение предполагает свободный от

Схема зон безледникового климата (меловой период): *1* — холодноумеренная; *2* — северная умеренная; *3* — северная и южная субтропические; *4* — тропическая; *5* — южная умеренная (Красилов В. А. Меловой период. М., Наука, 1985).



льда океан, так как для роста ледников необходимо поступление влаги. Оледенение арктического бассейна поэтому приводит к деградации высокоширотных материковых льдов при низких температурах. Одновременно сокращается поступление опресненных арктических вод в Северную Атлантику, поверхностные воды здесь становятся более солеными и не замерзают при низкой температуре, количества влаги достаточно для роста среднеширотных материковых ледников, которые, таким образом, оказываются в противофазе с высокоширотными, но совпадают с оледенением Арктического океана. Дополнительные осложнения возникают из-за отставания ледниковых подвижек от температурных изменений, гляциоэвстатической трансгрессии — от дегляциации, обратных связей между сокращением ледников, трансгрессией и температурой океанических вод (охлажденных айсбергами и талыми водами), а также между последней и содержанием парниковых газов в атмосфере.

Парниковый эффект—многофакторная модель

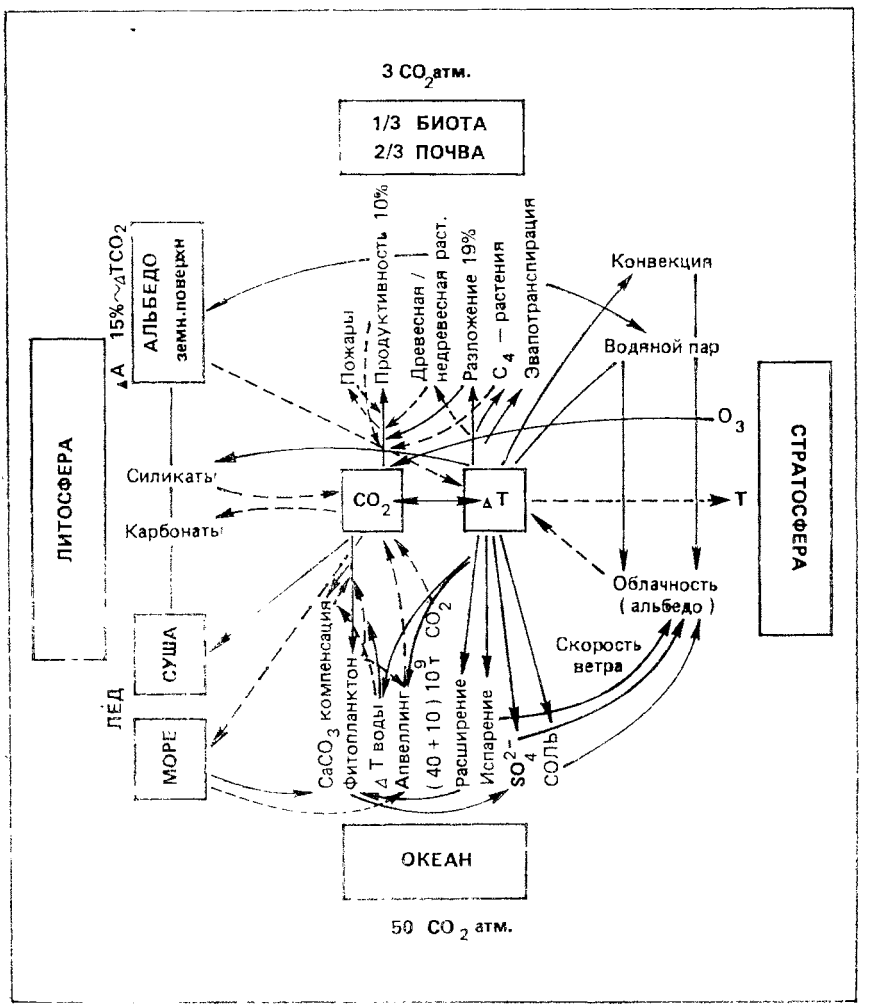
Сложное переплетение природных и антропогенных факторов, наложенных на ротационную цикличность, придает климатическим изменениям труднопредсказуемый характер. Каждый фактод должен рассматриваться в системе разнообразных взаимодействий с позитивными и негативными обратными связями. В частности, модель CO_2 включает взаимодействие тропосферных процессов с земной корой, биосферой, океаном и стратосферой. Соответственно выделяются механизмы регуляции CO_2.

Литосферный механизм. CO_2 расходуется на разложение силикатных (реакция экзотермическая) и карбонатных минералов земной коры, ионы кальция, магния и HCO_3 выносятся в океан, где осаждаются в виде карбонатов, связывая около $100 \cdot 10^6$ т углерода в год. Возврат углерода в атмосферу происходит в результате магматических и метаморфических процессов. До появления техногенного источника дегазация недр была одним из основных факторов, сохраняющих баланс атмосферной CO_2. Общий объем CO_2, выбрасываемый наземными и подводными вулканами, оценивается в $130—175 \cdot 10^6$ т в год, но эта цифра, по-видимому, занижена, так как одна лишь Этна выбрасывает $25 \cdot 10^6$ т в год (большой объем выбросов вообще характерен для наземного щелочного вулканизма, сопутствующего растяжению земной коры).

Увеличение концентрации CO_2 в атмосфере и парниковый эффект активизируют химическое выветривание (сток CO_2—негативная обратная связь), нарушая равновесие во взаимодействии с литосферой.

Биосферный механизм. Около $830 \cdot 10^{12}$ кг углерода — втрое больше, чем в атмосфере — концентрируется в биоте (в устойчивых лигнифицированных тканях древесных растений около трети) и гумусе. С удвоением CO_2 возрастает продуктивность наземной растительности (примерно на 10% — негативная обратная связь), сдерживаемая главным образом содержанием азота и фосфора в почве, поскольку потребность в воде

Схема взаимодействия между CO_2, температурой и другими компонентами среды. *Сплошные стрелки* — позитивная связь, *прерывистые* — негативная (пояснения в тексте).



сокращается. Одновременно повышение температуры 1) увеличивает эвапотранспирацию, содержание водяного пара в атмосфере (усиление парникового эффекта — позитивная связь) и облачность (увеличение альбедо — негативная связь); 2) изменяет соотношение древесной и недревесной растительности в пользу последней (меньше лигнитизированных тканей — позитивная связь, увеличение альбедо — негативная); 3) способствует распространению растений с C_4 — типом фотосинтеза (поглощают больше CO_2 — негативная связь); 4) активизирует разложение органики (приток до 19% CO_2 в дополнение к техногенному источнику — позитивная связь*); 5) увеличивает частоту лесных пожаров (позитивная связь).

В целом биотические факторы стока и притока CO_2, по-видимому, уравновешивают друг друга, однако сведение лесов и усиливающаяся эрозия почв смещают равновесие в сторону позитивного вклада в парниковое потепление — около 32% CO_2 поступает из этого источника.

Биосфера служит основным источником метана, который выделяется при анаэробном разложении органического вещества, из естественных выходов на земную поверхность угольных, газовых и нефтяных залежей, торфяников. Антропогенные источники метана — скотоводство, рисосеяние, твердые отходы, угольные карьеры, газовые и нефтяные скважины, утечка из газопроводов — всего около $300 \cdot 10^9$ кг в год.

В северных районах вечная мерзлота перекрывает выбросы из газовых залежей. Потепление может вызвать значительный приток метана из этого источника и газогидратов (позитивная связь).

Анаэробные процессы в целом зависят от содержания кислорода в атмосфере и, таким образом, позитивно связаны с концентрацией CO_2, хотя их конкретные проявления контролируются другими факторами.

Гидросферный механизм. Океанический резервуар углерода в 80 раз ревышает атмосферный. Растворенный органический углерод (РОУ) в придонных слоях имеет ^{14}C — возраст более 6000 лет (отчасти может быть завышенный за счет поступления более древнего углерода из донных отложений), что свидетельствует о крайне замедленном круговороте. Однако в поверхностных слоях возраст РОУ примерно на 50% меньше 30 лет, а скорость круговорота резко возрастает в период весеннего цветения фитопланктона **. Растворенные органические соединения также разлагаются фотохимически с выделением летучих

* Jenkinson D. S. et al. Nature, 1991, 351:304—306.
** Kirchman D. et al. Nature, 1991, 352:612—614.

компонентов в атмосферу*. Ультрафиолетовая радиация ускоряет этот процесс.

Растворимость CO_2 уменьшается с возрастанием температуры воды (позитивная связь), однако нагревание поверхностных вод может подавить низкоширотные апвеллинги, в которых циркулирует около $50 \cdot 10^9$ т CO_2, препятствуя ее выделению в атмосферу (негативная связь).

Циркуляция растворенной CO_2 зависит еще от ряда взаимосвязанных факторов, среди которых необходимо выделить: 1) распространение холодных опресненных поверхностных вод при таянии полярных льдов (сток CO_2—негативная связь с парниковым эффектом); 2) глубина карбонатной компенсации (с ее понижением расширяется область распространения карбонатных отложений — негативная связь); 3) скорость распространения холодных глубинных вод, оценки которой колеблются в широких пределах. Кроме того, таяние морских льдов способствует росту ледников на суше — фактор альбедо, дающий негативную связь с потеплением.

В последнее десятилетие с помощью спутниковых наблюдений установлено некоторое сокращение ледового покрова в Арктическом океане. Данные по Антарктике не обнаруживают определенной тенденции **.

Атмосферный механизм. Увеличение содержания водяного пара с потеплением, провоцированным CO_2, может дать «сверхпарниковый эффект». Однако одновременное повышение конвективной активности атмосферы ведет к увеличению облачности. Дополнительные факторы облачности — увеличение эвапотранспирации и скорости ветра, срывающего с поверхности океана частицы соли, которые, наряду с сульфатными аэрозолями, служат ядрами конденсации водяного пара. Источники аэрозолей — как техногенные (возможно, уравновешивающие парниковый эффект техногенной CO_2), так и биогенные в форме диметилсульфида, концентрация которого зависит от продуктивности планктона. Последняя, таким образом, негативно связана с количеством CO_2 через альбедо облаков, аэрозолей и оптические свойства атмосферы ***. Поскольку увеличение альбедо на 5% достаточно, чтобы компенсировать парниковый эффект от удвоения CO_2, то значение этих факторов не следует недооценивать.

Еще один возможный источник «сверхпарникового эффекта»—метан, содержание которого в атмосфере сейчас возрастает на 1% в год, но в случае размораживания вечной мерзлоты и

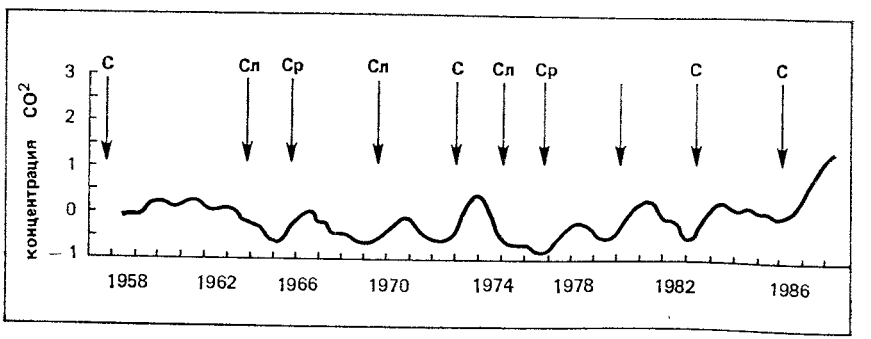
* Mopper K. et al. Nature, 1991, 353:60—62.
** Gloerson P., Campbell W. J. Nature, 1991, 352:33—36.
*** Prospero J. M. et al. Nature, 1991, 350:221—223.

газоконденсатов может достичь критического уровня. Сток метана происходит главным образом за счет реакций с радикалами гидроксила OH^- и отчасти с окислами азота, способствуя накоплению озона в тропосфере. Метан также оказывает воздействие на стратосферные процессы, участвуя в реакциях с гидроксилом, закисью азота, ХФУ и озоном.

Стратосферный механизм. Парниковый разогрев тропосферы сопровождается понижением температуры стратосферы, активизацией гетерогенных реакций в полярных облаках с участием закиси азота и ХФУ, разрушающих озон. В результате возросшая интенсивность ультрафиолетовой радиации способствует разложению растворенного органического вещества — притоку CO_2 из океанического резервуара. Эти эффекты также могут быть сняты аэрозолями, поглощающими ультрафиолетовый свет.

Относительное значение этих регулирующих механизмов еще предстоит установить. В последнее время обнаружена несомненная связь между содержанием CO_2 в атмосфере и Эль-Ниньо — распространением аномально теплых поверхностных вод в Тихом океане, происходящим с периодичностью в 4—5 лет и вызывающим аномальные климатические явления (теплые зимы на Аляске, засухи в Африке) практически по всему земному шару. Приведенный график показывает уменьшение концентрации CO_2 в начале Эль-Ниньо с последующим увеличением, превышающим техногенное. Спад CO_2 можно объяснить подавлением апвеллинга — подъема холодных глубинных вод, выделяющих CO_2 в атмосферу, а пик — уменьшением растворимости CO_2 при повышении температуры (альтернативный биологический механизм, предлагаемый Дж. Килингом и другими авторами, маловероятен, так как временной интервал колебаний CO_2 недостаточен для ощутимой реакции биосферы).

Корреляция между содержанием CO_2 в атмосфере и температурными аномалиями в южной Пацифике, Эль-Ниньо (*С*—сильные, *Сл*—слабые, *Ср*—средние, по Siegenthaler U. Nature, 1990, 345; 295—296).



Дальнейшим подтверждением роли океанической циркуляции как основного регулятора содержания CO_2 в атмосфере явился ряд наблюдений, показывающих не только хорошую корреляцию CO_2 с температурой, но и запаздывание колебаний CO_2 на 4 месяца по отношению к температуре поверхностных вод и на 1 месяц по отношению к температуре воздуха*. Становится еще более очевидным, что увеличение концентрации CO_2 (включая техногенный источник) объясняется потеплением, а не наоборот, хотя парниковый эффект по принципу позитивной связи форсирует повышение температуры. Эти данные не только вносят существенные коррективы в традиционные представления о роли океана в регуляции газового состава и поддержании теплового баланса атмосферы, но и приближают нас к общему объяснению климатических колебаний. Эль-Ниньо связаны с краткопериодическими изменениями скорости вращения Земли в результате гравитационных воздействиий других небесных тел, которые служат пусковым механизмом волновых процессов в земных оболочках, включая Мировой океан и биосферу.

Известно, что в смене климатических ситуаций ледникового периода выражены циклы прецессий, наклона эклиптики и эксцентриситета земной орбиты. Определение содержания CO_2 в атмосфере геологического прошлого по пузырькам воздуха в льдах Антарктиды, пробуренных на станции Восток, обнаруживает корреляцию с температурой ледниковых и межледниковых эпох**. Эти данные были использованы для подтверждения парниковой модели. Однако и здесь возникает вопрос о причинах и следствиях. Поскольку техногенного источника не было, то остается биосфера, продуктивность которой в межледниковье возрастала (сток, а не приток CO_2), и океанический механизм, сопоставимый с Эль-Ниньо.

Приспособление или противостояние

Стандартное возражениие против развиваемого здесь подхода сводится к тому, что системная модель требует длительных исследований, а действовать нужно немедленно. Даже если парниковая модель несостоятельна, с ее помощью можно добиться сокращения выбросов, а это в любом случае полезно. С последним нельзя не согласиться. Однако в чрезвычайно затратной области сокращения выбросов необходим взвешенный подход к расстановке приоритетов, требующий всесторонней проработки проблемы.

* Marstun J. B. et al. Nature. 1991, 349:573—574.
** Lorius et al. Nature. 1990. 347·139—145.

В течение всей своей истории человечество приспосабливалось к климату, добиваясь относительной независимости от погодных условий. Этой цели служили огонь, одежда, жилище, впоследствии — кондиционеры, холодильники, антифризы, развитие транспортных средств (например, замена парусного флота паровым), переход от климатически зависимых источников энергии (вода, ветер) к горючим ископаемым, перевод производства под крышу зданий и повседневная жизнь в четырех стенах, ритм которой мало зависит от смены сезонов.

Продолжая эту многовековую тенденцию, мировая экономика, вероятно, сможет приспособиться к предстоящим климатическим изменениям, если это будет признако приоритетной целью. Потепление позволит сократить потребление энергии и направить освободившиеся средства на возмещение возможного ущерба. Сокращение сельскохозяйственного производства в засушливых областях может компенсироваться его продвижением к северу.

Соотношение преимуществ и ущерба будет зависеть от заблаговременной подготовки, включая демографическую политику и перестройку региональной экономики. Опасность, как мы уже отмечали, заключается не столько в самих изменениях, сколько в инерционности хозяйственных структур, ориентированных на статус-кво.

Однако сейчас преобладает альтернативная установка: не приспособиться, а предотвратить климатические изменения, практически сделать климат управляемым с целью сохранения статус-кво. Невообразимая сложность этой задачи заставляет сосредоточить внимание на одном факторе, может быть не самом важном. Сокращение техногенных выбросов CO_2 потребует экспоненциально возрастающих затрат*, которые отнюдь не гарантируют стабилизации климата. Хотя сокращение удельного веса горючих ископаемых в структуре энергетики желательно по многим соображениям (см. ниже), в настоящее время в качестве основной их альтернативы выступает атомная энергетика. Ее сторонники возлагают большие надежды на международные соглашения о сокращении выбросов CO_2, форсируя их с помощью научного и политического лобби.

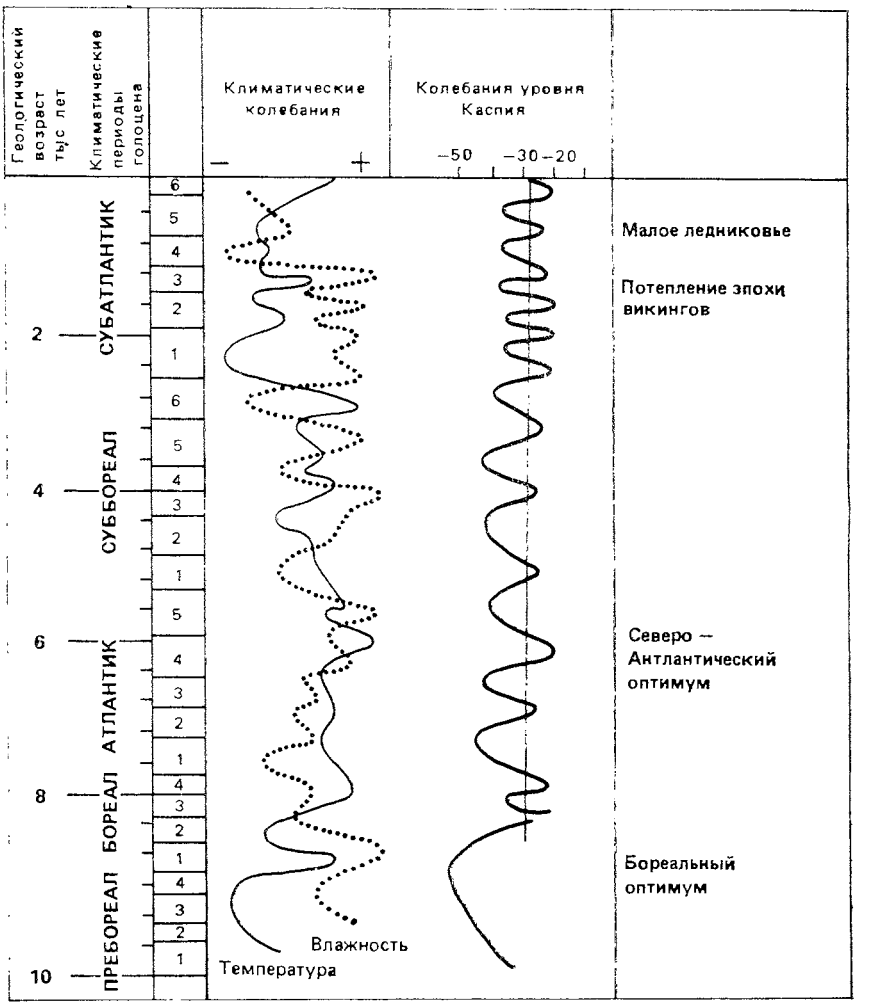
Анализ многофакторной модели показывает, что накопление CO_2 может служить пусковым механизмом процессов, способных оказать существенное воздействие на глобальный климат. При этом критическое значение имеет пороговая температура, при которой эти процессы приобретают лавинообразный характер. Например, массовый приток метана из районов развития вечной

* Perman R. Nature, 1990, 347:10.

мерзлоты произойдет при потеплении около 5°С, значительно превышающем предполагаемый парниковый эффект, тогда как постулируемого повышения температуры на 2,5°С, вероятно, достаточно для увеличения числа ядер конденсации водяного пара на 30—45%, при котором парниковый эффект будет компенсирован облачностью.

Без учета такого рода соотношений меры по стабилизации

Климатические колебания и колебания уровня Каспия в голоцене (по В. А. Зубакову).



климата могут дать обратный эффект. В принципе задача заключается в уравновешивании позитивных и негативных обратных связей, количественная сторона которых еще недостаточно изучена.

Стратегия стабилизации не может абстрагироваться от природных изменений климата, по отношению к которым техногенный фактор выступает в роли ускорителя или тормоза. Привлечение палео- и археоклиматических данных указывает на общую тенденцию к похолоданию после голоценового оптимума 5,6 тыс. лет назад, на фоне которой отчетливо выделяются четыре термических цикла. Современное потепление относится к пятому циклу и соответствует климатическому оптимуму эпохи викингов, около 1000 лет назад. Исторические аналогии позволяют ожидать устойчивого похолодания уже в следующем веке. Однако для более точных прогнозов необходим более детальный анализ структуры климатических циклов.

СОКРАЩЕНИЕ ОЗОНОВОГО СЛОЯ

Систематическое слежение за состоянием озонового слоя проводится с 1978 г. с помощью спутниковой аппаратуры. Основные выводы заключаются в том, что за 12 лет наблюдений общие потери стратосферного озона между 65° с. ш. и 65° ю. ш. составили около 3%. В то время как в экваториальной зоне сокращение озонового слоя несущественно, к полюсам оно возрастает, достигая 3% в год над Антарктидой. Эти цифры примерно соответствуют увеличению годовой дозы ультрафиолетового облучения в диапазоне волн, воздействующем на ДНК, на 10% за последнее десятилетие, преимущественно в зимнее и весеннее время.

Наиболее значительное сокращение озонового слоя — до 50% на высоте 20—50 км наблюдается в районе Антарктики в весеннее время. Это явление было описано Дж. Фарманом в 1985 г. и получило широкую известность под названием «озоновой дыры». Наиболее глубокие «дыры» возникли в нечетные годы — 1987 и 1989 гг., однако в 1990 г. весеннее сокращение озонового слоя над Антарктикой также было весьма значительным.

Резкое сокращение озонового слоя в районе Южного полюса происходит в течение трех-четырех недель с сентября по октябрь, в период вихревой циркуляции атмосферы, которая распадается в ноябре, распространяя истощенный озоновый слой к северу. В то же время озон восстанавливается за счет притока из низких широт.

В Арктике события носят менее драматический характер и отчетливо выраженной «озоновой дыры» не возникает, хотя убыль озона в течение зимы достигает 12% на высоте 17—20 км,

а может быть и значительно более, поскольку она постоянно компенсируется притоком извне*.

Еще в 1974 г. Шервуд Роланд выдвинул гипотезу о разрушении озонового слоя хлорфторуглеродами (ХФУ). Не вызвавшая вначале большого интереса, эта гипотеза оказалась в центре внимания после обнаружения антарктической «озоновой дыры». ХФУ широко используются как фризы, растворители, стерилизаторы и моющие средства. Они накапливаются в тропосфере и, проникая в стратосферу, подвергаются фотолизу с выделением атомарного хлора, который, наряду с бромом, содержащимся в галонах, и их окисями катализирует реакции разложения озона. Содержание соединений хлора в атмосфере, возросшее от 0,6 ppb в начале века до 2 ppb к моменту возникновения «озоновой дыры», сейчас составляет около 3 ppb и в следующем столетии может достичь 5 ppb.

Поскольку соединение окиси хлора (брома) с атомарным кислородом не может дать более чем 3% убыли озона, то основная роль отводится гетерогенным реакциям на частицах льда в полярных стратосферных облаках, которые таким образом выступают в качестве основного фактора разрушения озонового слоя

Зимне-летнему сокращению озона в Арктике и Антарктике сопутствуют высокие концентрации окиси хлора, что рассматривается как прямое подтверждение участия ХФУ в разрушении озонового слоя.

Данные о последствиях сокращения озонового слоя для человека и биоты весьма противоречивы. Некоторое увеличение заболеваемости раком кожи может быть связано с возросшей солнечной активностью. В отдельные годы наблюдалось также сокращение продуктивности микропланктона в Антарктике. Дозы УФ здесь остаются существенно ниже обычных в низких широтах, но можно предположить, что полярная биота к ним более чувствительна. Требование принять превентивные меры против прогрессирующей утраты стратосферного озона прозвучали на ряде международных встреч и привели к подписанию в 1987 г. Монреальского протокола и осуществлению обширной программы по перестройке соответствующих видов химического производства.

Цель Монреальского протокола и последующих соглашений состоит в снижении концентрации хлора до 2 ppb (уровень, предшествовавший образованию «озоновой дыры»). Монреальский протокол регулирует производство десяти видов ХФУ и трех видов галонов, которое должно быть сокращено на 20% от уровня 1986 г. в 1994 г. и на 50% к 1999 г. (при этом уровень будет повышаться по крайней мере до 2010 г. за счет складиро-

* Proffitt M. H. et al. Nature, 1990, 347:31—36.

ванных и используемых в холодильных системах материалов). В дальнейшем эти меры были признаны недостаточными для восстановления озонового слоя. В первую очередь предполагается исключить из производства и использования устойчивые к фотолизу соединения типа ХФУ-11 с последующей заменой всех или большинства ХФУ на гидрофлюороуглероды (ГФУ)*. Создан специальный фонд для внедрения соответствующих технологий в развивающихся странах. Полное прекращение производства галоуглеродов планируется к 2030 г.

В то же время механизм разрушения стратосферного озона не вполне ясен. Здесь, как и в других случаях (см. предыдущий раздел), заметно стремление упростить проблему, форсируя один из ее аспектов как якобы решающий. В действительности проблема озона не сводится к ХФУ. В прогностической модели необходимо учесть взаимодействия в системах озон-водяной пар, озон-окись азота, стратосферный озон-тропосферный озон, а также воздействие температурных условий, солнечной активности, вулканизма (как дополнительного источника стратосферных аэрозолей) и таких антропогенных факторов, как ракеты, космические корабли и сверхзвуковая авиация (двуокись азота в выхлопных газах). Все эти переменные несомненно дают значительные периодические колебания мощности озонового слоя, на фоне которых воздействие ХФУ (и естественных источников хлора, ответственных за 20% его содержания в атмосфере) может оказаться второстепенным.

Содержание озона в тропосфере регулируется выбросами двуокиси азота, которая под действием ультрафиолетового света разлагается на химически активные окись азота и атомарный кислород, соединяющийся с молекулярным кислородом воздуха. Обратная реакция восстанавливает NO_2, однако в присутствии метана и других органических соединений происходит накопление озона (городской смог), который при концентрации более 0,12 ppm ослабляет иммунную систему и разрушает легочную ткань, нанося также ущерб фотосинтетическим тканям растений. В то же время тропосферный озон более эффективно защищает от ультрафиолетового облучения, чем стратосферный.

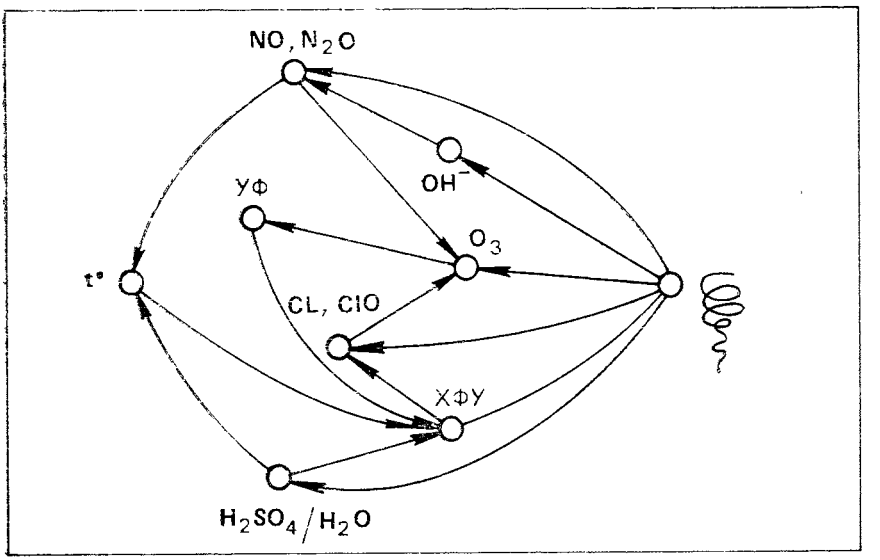
Для стратосферного озона окись азота также критический фактор. Баланс этих газов определяется интенсивностью ультрафиолетовой радиации и потока протонов в солнечном ветре, концентрацией радикалов гидроксила OH^-, переводящих двуокись азота в азотную кислоту, а также содержанием H_2SO_4/H_2O аэрозолей, на поверхности которых протекают гетерогенные реакции.

* Prather M., Watson R. T. Nature, 1990, 344:729—734; Steven H., Lindley A. New Scientist, 1990, June: 48—51.

Нарушение равновесия между озоном и окисью азота в полярном вихре может указывать на интенсивное протекание гетерогенной реакции с участием этих газов в полярных облаках, тогда как повышение содержания окиси хлора в той же воздушной массе может оказаться не причиной, а следствием разрушения озона.

Парадокс заключается в том, что антарктическая «озоновая дыра», привлекшая столь пристальное внимание к проблеме ХФУ, в действительности не может быть вызвана воздействием этих соединений в силу их незначительной концентрации и несоответствия модельных расчетов масштабу и скорости весеннего сокращения озона. При этом обращают на себя внимание два обстоятельства: двухлетний цикл динамики озонового слоя, совпадающий с периодичностью температурных колебаний («дыра» больше в холодные годы) и одновременное сокращение тропосферного озона в том же регионе*. Причиной последнего может быть как увеличение ультрафиолетовой радиации, так и приток обедненного озоном морского воздуха из более низких широт, который усиливается в связи с температурными аномалиями и

Схема взаимодействия между факторами истощения озонового слоя атмосферы в стиле аналитической модели «кругов Уотсона» (Watson C. E. Bus. Horizons, 1976, 19 88—94). Значение фактора соответствует числу отходящих от него стрелок. Символ *справа*—вихревая циркуляция атмосферы.



* Schnell R. C. Nature, 1991, 351:726—729.

возросшей облачностью. Этот механизм может прояснить и образование стратосферной «озоновой дыры»: обедненный озоном воздух засасывается внутрь вихревой воронки и выбрасывается в стратосферу, разбавляя нижние слои озоновой колонны.

В целом наблюдаемое в настоящее время сокращение озонового слоя, по-видимому, объясняется синергическим действием ряда факторов:

1) притоком обедненных озоном приземных воздушных масс к полюсам в связи с интенсивной вихревой циркуляцией атмосферы и тепловыми аномалиями в океане;

2) увеличением солнечной активности с пиком в 1989 г., вторым по интенсивности солнечных вспышек за последние 400 лет;

3) возросшей вулканической активностью — два взрывных извержения в низких широтах за последнее десятилетие (Эль-Чичон, Пинатубо), сопровождавшиеся массовыми выбросами сульфатных аэрозолей в стратосферу;

4) низкой температурой стратосферы, способствующей устойчивому развитию полярных облаков;

5) возросшими антропогенными выбросами окислов азота, двуокиси углерода, метана и ХФУ, накоплением озона в тропосфере (пока не оценена роль авиации, но производство самолетов типа Конкорд, регулярно летающих в стратосфере, внушает обоснованные опасения).

Таким образом, мы не можем рассчитывать на целиком управляемую модель озонового слоя. При этом нам еще предстоит оценить относительный вклад управляемых и неуправляемых факторов.

КИСЛОТНЫЕ ДОЖДИ

Под популярным названием «кислотные дожди» кроется сложный комплекс воздействий техногенных загрязнений воздуха на человека и природную среду, главные последствия которых — рост аллергических заболеваний дыхательных органов, потери урожайности сельскохозяйственных растений, усыхание лесов, безрыбные озера.

Проблема кислотных дождей возникла в Западной Европе и Северной Америке в конце 50-х годов. В последнее десятилетие она приобрела глобальное значение главным образом в связи с возросшими выбросами окислов серы и азота, а также аммиака и летучих органических соединений (ЛОС). По данным ЕЭК, двуокись (трехокись) серы поступает из теплоэлектростанций и других стационарных источников при сжигании ископаемого топлива (88%), при переработке сульфидных руд (5%), нефтепродуктов, производстве серной кислоты и др. (7%). Для окислов азота среди стационарных источников топливно-энергети-

ческий дает 85% выбросов, производство цемента, извести, стекла, металлургические процессы, сжигание мусора и др.—12%. Азотные загрязнения поступают из нестационарных источников и — аммиак — от животноводческих предприятий и удобрений. Основные источники ЛОС — химические производства, промышленные и бытовые растворители, нефтехранилища, бензоколонки и т. д.

Кроме этих первичных загрязнений, атмосферный воздух содержит ряд вторичных — озон и другие фотохимические оксиданты (образующиеся при действии солнечного света на смесь окислов азота и углеводородов), азотную и серную кислоты и др. Озон, содержание которого в приземном воздухе за последние десятилетия удвоилось, составляет основную часть фотохимического смога в атмосфере городов, загрязненной выхлопными газами. Озон разрушает легочную ткань и способствует развитию опухолевых процессов, хотя в то же время защищает от ультрафиолетового излучения, компенсируя сокращение стратосферного озонового слоя.

Первичные и вторичные оксиданты вместе определяют «поллютный климат», который зависит от обычного климата и в то же время изменяет его. Важно подчеркнуть, что воздействие каждого из поллютантов на природные экосистемы и человека определяется «поллютным климатом» как системой. Состояние этой системы зависит от непрерывно протекающих реакций различного происхождения поллютантов с радикалами гидроксила и между собой в газовой фазе, на аэрозолях, на поверхности листьев. При этом их воздействия нейтрализируются или взаимно усиливаются как в случае совместного выпадения двуокиси серы и аммиака.

Окислители поглощаются почвой и биотой из атмосферного воздуха, кислотных дождей и капель тумана, которые содержат в два-три раза больше серы и азота, чем дожди.

Первым экономически ощутимым следствием кислотных выпадений была утрата рыбных ресурсов: сотни озер в Скандинавии и на Британских островах стали безрыбными. Исследование донных отложений показало снижение pH примерно на единицу в первой половине 19 в. после длительного периода относительной устойчивости. Среди факторов, воздействующих на популяции рыб в связи с подкислением, называют нехватку кальция, осаждение алюминия на жабрах и, главным образом, нарушение репродуктивных процессов. Чувствительны к подкислению также амфибии, ракообразные, хирономиды, личинки поденок и веснянок, сокращение биомассы которых существенно сказывается на численности околоводных птиц.

Подкисление водоемов происходит за счет вымывания анионов серной и азотной кислот из почвы — главного аккумулятора кис-

лотных загрязнений. Подкисление почвы приводит к изменению Al/Ca и Al/Mg отношений, которые в Центральной Европе за последние двадцать лет возросли почти в два раза. Однако емкость почв по отношению к кислотным загрязнениям определяется их минеральным составом, катионным обменом, почвенным дыханием и другими факторами, которые в свою очередь зависят от геологического субстрата, климата и растительности. Существует несколько расчетных моделей оценки кислотности почв и ее картографического анализа*, в ряде случаев выявляющих очень высокую степень корреляции с геологическим субстратом (например, распространением габбро-перидотитовых и карбонатных массивов в Альпийском поясе). Относительно недавно сформировавшиеся после отступления ледников почвы северной Европы обладают незначительной поллютной емкостью по сравнению со старыми почвами, обогащенными железом и алюминием.

Почвенное подкисление считают одной из основных причин усыхания лесов умеренной зоны северного полушария. В угрожающих масштабах деградация лесов проявилась в начале 70-х годов. Больше всего пострадали елово-пихтовые и дубовые леса. В европейских странах дефолиация порядка 25% отмечена у 15% деревьев старше 60 лет. Старые леса при этом терпят больший ущерб, чем молодые. Эффекты подкисления можно подразделить на химические и биологические. Первые заключаются главным образом в изменении катионного обмена растения, в результате которого деревья страдают от недостатка магния (особенно на естественно бедных магнием почвах) и избытка алюминия, в котором видят главную причину пожелтения хвои. Вторые весьма многообразны и большей частью носят косвенный характер: загрязнения выступают в роли пусковых механизмов биологических и биохимических процессов, ослабляющих растение, делающих его менее устойчивым к вредителям и климатическим воздействиям. В частности, кислая среда подавляет развитие микоризы и рост корней. В то же время повышенное содержание азота и свободных нуклеиновых кислот стимулирует развитие лесных вредителей. Косвенные воздействия выражаются в пролонгации летнего роста и соответственно повышенной чувствительности к первым заморозкам. К ним можно отнести также изменение генофонда в результате естественного отбора на устойчивость к кислотным загрязнениям, как это было показано на примере SO_2-устойчивых генотипов редиса **.

На почвенные эффекты накладывается непосредственное воздействие озона и других газов на ассимиляционный аппарат

* Gherini S. A. et al. Water, Air and Soil Pollution. 1985, 26:425—459; Hauhs M., Wright R. F. Air pollution. Research Report. Brussels, 1988.
** Coleman L. S., Mooney H. A. Can. J. Bot., 1990, 68:102—106.

листьев. Показано, например, что озон изменяет микроструктуру покрывающего хвою эпикутикулярного воска, который забивает до 80% устьиц*. Такого рода воздействия наносят основной ущерб сельскохозяйственным растениям, менее зависимым от подкисления почв, которое контролируется агрохимикатами. Один из факторов снижения урожайности — изменение химизма среды, в которой протекают биохимические реакции между выделениями рыльца и пыльцой и от которых зависит эффективность опыления **.

Подсчитано, что 25-процентное снижение концентрации озона дало бы прирост урожайности зерновых в США на сумму около 2—3 млрд. долларов, что составляет 2—3% стоимости всей сельскохозяйственной продукции.

Для лесов, однако, загрязнение почвы оказывается более существенным и, главное, долгодействующим фактором, проявляющимся через много лет после сокращения выбросов (почва при этом становится источником кислотных газов). Ущерб от кислотных дождей для европейских лесов оценивается в 118 млн. куб. м древесины в год (из них около 35 млн. куб. м на европейской территории России).

Вместе с тем воздействие загрязнений локализовано как по источникам выбросов, так и по чувствительности к ним лесных экосистем, в то время как усыхание лесов проявляется одновременно и с определенной периодичностью в разных странах, указывая на значение климатической составляющей этого явления. Среди специалистов существуют серьезные разногласия в отношении ведущей роли климатического или поллютного фактора. Большинство, однако, согласно с тем, что в сухие годы ущерб от кислотных загрязнений возрастает. В порядке позитивной обратной связи почвы выделяют двуокись азота — парниковый газ — и поглощают меньше метана. В данном случае естественный климат и «поллютный климат» настолько тесно связаны, что их, в сущности, невозможно разделить. Для бессточных озер решающее значение имеет нейтрализующий потенциал грунтовых вод. Климатически обусловленные колебания уровня грунтовых вод вызывают соответствующие изменения pH при постоянном уровне загрязнений ***.

В прошлом средством против загрязнения приземного воздуха считались высокие трубы. Однако с обнаружением способности газовых загрязнений к дальнему переносу стало ясно, что «политика высоких труб» усугубляет глобальные эффекты выбросов. Проблема дальнего переноса нашла отражение в Ме-

* Barnes J. D. et al. New Phytol., 1988, 110:309—318.
** Wartheim F. S., Graker L. E. Environ. Qual. 1988, 17:195—196.
*** Webster K. E. et al. Nature, 1990, 347:374—376.

морандуме США/Канады и европейской Конвенции о трансграничных загрязнениях воздуха на большие расстояния. Эти международные соглашения инициировали ряд исследовательских программ по определению «критических нагрузок» для серы и азота (ниже которых эффект воздействия на наиболее чувствительные компоненты экосистем не обнаруживается). Картирование критических нагрузок дает материал для рекомендаций по снижению выбросов, для выполнения которых разработана система мер, включающая изменение структуры энергетики, переход на топливо с низким содержанием серы, передовые технологии очистки топлива, флюидизации и газификации, циклические системы газовых турбин, десульфуризацию отходящих газов и т. д.*

Планируемое в странах ЕС снижение выбросов серы на 60% к 1993 г. по модельным расчетам недостаточно для возврата к доиндустриальному уровню кислотности, однако уже сейчас наблюдается частичное восстановление озерных и лесных экосистем. К сожалению, этой проблеме сейчас уделяется меньше внимания, так как она отодвинута на задний план борьбой с парниковым эффектом.

ОПУСТЫНИВАНИЕ

Более 1 млрд. людей проживает в семиаридных регионах, граничащих с пустынями и составляющих вместе с ними около трети суши. Засухи и голод в зоне Сахель к югу от Сахары в 70-х и в восточной Африке — в 80-х годах показали масштабы бедствия, которое может произойти в результате устойчивого опустынивания семиаридных областей, и выдвинули эту проблему в число наиболее острых. Специальные программы по борьбе с опустыниванием осуществляются ЮНЕП, Всемирным банком и Американским агентством международного развития. Полагают**, что в результате парникового потепления площадь пустынь увеличится на 17%. Наряду с этим опустынивание объясняют возросшим антропогенным воздействием на семиаридные экосистемы.

В прошлом при невысокой плотности и кочевом образе жизни коренного населения антропогенная нагрузка распределялась на обширную территорию, не нанося значительного ущерба природным ресурсам. Однако внедрение таких водоемких культур, как рис, расход воды на орошение, ведущее в условиях жаркого сухого климата к быстрому засолению почвы, концентрация ското-

* Draft technical annex to a second Sulphyr protocol and to the 1988 Sofia protocol on control technologies for Sulphur and NO emissions from stationary sources. EC, Geneva, 1992.
** Emanuel W. R. et al. Clim. Change, 1985, 7:29.

водческого населения вблизи артезианских скважин и использование современных транспортных средств дают толчок процессам опустынивания, приобретающим необратимый характер. Замечено, например, что нарушение травяного покрова в результате перевыпаса ведет к прогреванию, иссушению и уплотнению почвы, ускоряя сток дождевых вод, вынос питательных веществ и внедрение пустынных кустарников. Травянистая растительность не восстанавливается из-за интенсивной эрозии почвы в промежутках между кустарниками*.

Вместе с тем здесь, как и в других случаях, трудно установить соотношение природных и антропогенных факторов. Не исключено, что последние лишь ускоряют события, накладываясь на естественные процессы. Данные по охраняемым территориям не подтверждают представления об устойчивости растительных сообществ аридной зоны. Так, на участках пустыни Сонора, не подвергшихся антропогенному воздействию, в первой половине 20 в. отмечены 4-кратные изменения плотности популяций кактуса карнегия гигантская и противоположные по знаку изменения численности доминирующих кустарников**.

Распространение пустынь определяется многими природными факторами, среди которых обычно выделяют экваториально-полярный температурный градиент, апвеллинги, усиливающие температурный контраст между морем и сушей (пустыня Намиб на юго-западе Африки), и береговые горные хребты, отбрасывающие «дождевую тень» на внутренние области (пустыня Сонора в Северной Америке). Все эти факторы (включая и высоту гор, зависящую от интенсивности эрозионных процессов) чувствительны к глобальным климатическим изменениям.

Движение атмосферы в самых общих чертах определяется перепадом температуры между экватором и полюсами. Нагретый воздух поднимается над экватором и, охлаждаясь, теряет влагу, которая проливается дождями в зоне тропических дождевых лесов между 15° к северу и югу от экватора. Нисходящие течения охлажденного воздуха нагреваются и поглощают влагу между 20 и 30° северной и южной широты, где пролегают зоны пустынь. Поскольку насыщение воздуха водяным паром зависит от температуры, в более теплом климате атмосфера в целом содержит больше влаги, восходящие воздушные потоки медленнее охлаждаются, ячейки переноса тепла шире и барометрическая зональность не столь отчетлива. Дожди не успевают пролиться над экватором, и осадки распределяются в пределах более широкой зоны, границы которой контролируются главным образом экваториально-полярным температурным градиентом

* Schlesinger W. H. et al. Science, 1990, 247:1043—1048.
** Turner R. M. Ecology, 1990, 7:464—477.

(в безледниковом климате составляющем примерно половину современного).

Можно предположить, опираясь на палеоклиматические данные, что и дождевые тропические леса, и пустыни вдоль тропиков Рака и Козерога — порождение ледниковой эпохи (как и полярные пустыни). С потеплением и таянием полярных льдов возрастет сухость экваториальной зоны, но в пределах современных пустынь будет выпадать больше осадков. Хронология колебаний уровня бессточных озер аридной зоны в целом подтверждает эту гипотезу. Во время последнего оледенения, 21—12,5 тыс. лет назад, уровень озер был относительно низким, указывая на сухой климат. В первой половине голоцена общая тенденция к повышению уровня (увлажнение климата) прерывалась регрессиями в позднем дриасе, 11—10 тыс. лет назад и 7,5 тыс. лет назад, связанными с распространением талых вод в Атлантике, ослаблением северо-атлантического глубоководного течения и мусонной циркуляции*. Во время голоценового оптимума климат Сахары был гораздо влажнее, а границы зоны Сахель смещались на сотни километров к северу. Обнаружена корреляция между засухами в тропиках и Эль-Ниньо — распространением аномально теплых океанических вод, носящим периодический характер. Не случайно в Библии упаминается о чередовании обильных и голодных лет. Такого рода периодичность проявляется далеко за пределами тропиков.

Пересыхание внутренних морей может рассматриваться как часть общего процесса опустынивания. Наиболее остро эти проблемы проявились в Аральском регионе. Площадь Аральского моря сократилась с начала 60-х годов почти вдвое, соленость при этом возросла в три раза. Произошли изменения климата, уровня грунтовых вод. Ветровой вынос солей нанес огромный ущерб сельскому хозяйству Приаралья. Здесь проживает более 30 млн. человек, при этом рост населения — около 3% в год — один из самых высоких в мире. Бедственная экологическая обстановка привела к катастрофическому росту заболеваемости и обострению социальных проблем. Основной причиной усыхания Арала считается забор воды из Амударьи на мелиорацию, в особенности в связи с развитием хлопководства.

Среди возможных путей решения аральской проблемы Н. Ф. Глазовский** называет переход на маловодоемкие производства, резкое сокращение площадей орошаемого земледелия, реконструкцию оросительных систем, опреснение коллекторно-дренажных и подземных вод. В то же время проекты переброски вод из

* Gasse F. et al. Nature, 1990, 346:141—146.
** Глазовский Н. Ф. Аральский кризис.— М.: Наука, 1990.

сибирских рек или Каспия, регулирование речного стока и другие, требующие больших объемов гидротехнического строительства, могут породить новые, не менее серьезные экологические проблемы.

В то же время необходимо отметить, что в исторический период произошло несколько регрессий, во время которых уровень моря падал ниже современного. В водном бюджете Арала существенную роль играет южный влагоперенос, питающий реки, стекающие со склонов горных хребтов Средней Азии. Поэтому колебания Арала находятся в антифазе по отношению к Каспию, питаемому северными реками.

Без учета такого рода естественной периодичности прогнозы опустынивания могут оказаться совершенно несостоятельными. Вместе с тем следует отметить обратное воздействие опустынивания на климат, которое выражается в увеличении альбедо и поступлении в атмосферу пыли, сульфатных аэрозолей и азота в результате ветровой эрозии и денитрификации загипсованных почв и каличе. Количественная сторона этих процессов освещена в ряде специальных работ, показывающих, что они не только изменяют оптические свойства атмосферы, но и вносят существенный вклад в разрушение озона (закисью азота), парниковый эффект и кислотность атмосферных осадков (в зависимости от соотношения сульфатных и карбонатных аэрозолей: последние нейтрализуют серную кислоту).

БИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ

Подписанная в июне 1992 г. в Рио-де-Жанейро Международная конвенция о биологическом разнообразии может рассматриваться главным образом как выражение всеобщей озабоченности утратой того, что не может быть восстановлено — видов живых существ, каждый из которых занимает определенное место в структуре биосферы. Сможет ли объединенное человечество сохранить биологическое разнообразие? Это во многом зависит от понимания исторических процессов и ныне действующих факторов, под влиянием которых сложилось биологическое разнообразие, каким мы его знаем или, точнее сказать, знаем в небольшой степени.

Мы не знаем, сколько существует видов. Только в пологе тропического леса их может быть до 30 миллионов, хотя большинство исследователей принимает более консервативную цифру 5—6 миллионов. Сохранить их можно лишь одним способом — оберегая от сплошных рубок и загрязнений тропический лес как экосистему. Иначе говоря, для сохранения видового разнообразия необходимо в первую очередь позаботиться о разнообразии более высокого уровня — экосистемном. На этом уровне тундры

и полярные пустыни заслуживают не меньшего внимания, чем тропические леса, с которыми они сопоставимы по пространственным параметрам как структурные подразделения биосферы, хотя и гораздо беднее видами.

Биологическое разнообразие (БР)—это разнообразие форм и процессов в органическом мире, проявляющееся на молекулярно-генетическом, популяционном, таксономическом и ценотическом уровнях организации живого. Хотя уровни организации названы здесь в их традиционной последовательности снизу вверх (каждый последующий уровень включает предыдущие), такой порядок рассмотрения мало что дает для понимания природы БР. Если нас интересуют причины возникновения БР (по религиозным представлениям, БР возникло в результате творческого акта, логика которого тоже должна быть доступна разумному существу), то лучше продвигаться сверху вниз, начав с биосферы — земной оболочки, содержащей организмы и продукты их жизнедеятельности. Биосфера наложена на физические оболочки Земли — земную кору, гидросферу и атмосферу, состав которых в значительной мере определяется биогенным круговоротом веществ.

Каждая из этих оболочек в свою очередь неоднородна по физическим свойствам и химическому составу в направлении действия силы тяжести и ротационных сил, определяющих деление на тропосферу и стратосферу, океаны, окраинные моря и внутриконтинентальные водоему, континенты с их геоморфологическими неоднородностями и т. д. Неоднородность условий создается также неравномерным распределением по земной поверхности приходящей солнечной энергии. Широтная климатическая зональность на континентах дополняется климатическими векторами, направленными от побережья вглубь суши. Закономерное изменение условий по высоте над уровнем моря и глубине создает вертикальную поясность, которая отчасти аналогична широтной зональности. Жизнь наложена на все эти неоднородности, образуя сплошную пленку, которая не прерывается даже в пустынях.

Непрерывный живой покров — это результат длительной эволюции. Жизнь возникла не менее 3,5 миллиардов лет назад, но примерно 6/7 этого времени суша оставалась практически безжизненной, как и океанские глубины. Экспансия жизни осуществлялась путем приспособления к разным условиям существования, дифференциации жизненных форм, каждая из которых в пределах своих местообитаний наиболее эффективна в использовании природных ресурсов (можно попытаться заместить все разнообразие одним видом, как это, в сущности, и делает современный человек, но эффективность использования ресурсов биосферы в результате резко снизится).

Условия изменялись не только в пространстве, но и — во многом аналогично — во времени. Одни формы жизни оказывались более приспособленными к изменениям, чем другие. Жизнь прерывалась в отдельных зонах, но по крайней мере в последние 600 млн. лет постоянно находились формы, способные пережить кризис и заполнить образовавшиеся бреши (остатки более древних организмов немногочисленны, и у нас нет уверенности в том, что в течение докембрийской истории жизнь не прерывалась). Таким образом, БР обеспечивает непрерывность жизни во времени.

По мере того как жизнь покрывала сплошной пленкой поверхность планеты, сами организмы все больше приобретали значение основного фактора формирования жизненного пространства, функциональной структуры биосферы, связанной с осуществляемой в ее пределах биогенной трансформацией вещества и энергии, эффективность которой обеспечивается распределением ролей между организмами, их функциональной специализацией. Каждая функциональная ячейка биосферы — экосистема — представляет собой локальную совокупность взаимодействующих в процессе биогенного круговорота организмов и компонентов их среды. Пространственным выражением экосистемы может быть ландшафт, его фация (в этом случае говорят о биогеоценозе, включающем, по В. Н. Сукачеву, геологический субстрат, почву, растительность, животное и микробное население), любой компонент ландшафта (водоем, почва, растительное сообщество) или отдельный организм с его наружными и внутренними симбионтами.

Функциональное пространство экосистемы (многомерное, в отличие от физического) подразделено на экологические ниши, соответствующие распределению ролей между организмами. Каждой нише соответствует своя жизненная форма, своего рода амплуа, определяющее основные морфофизиологические признаки организмов и в порядке обратной связи зависящее от них. Формирование экологической ниши — обоюдный процесс, в котором сами организмы играют активную роль. В этом смысле ниши не существуют отдельно от жизненных форм. Тем не менее предопределенность структуры экосистемы, связанная с ее функциональным назначением, позволяет распознать «пустые ниши», которые непременно должны быть заполнены, чтобы структура сохранилась.

Таким образом, биологическое разнообразие необходимо для сохранения функциональной структуры биосферы и составляющих ее экосистем.

Устойчивое сочетание функционально взаимосвязанных жизненных форм образует биотическое сообщество (биоценоз), состав которого тем разнообразнее, чем сложнее структура эко-

системы, а это последнее зависит главным образом от устойчивости протекающих в экосистеме процессов. Так, в тропиках разнообразие выше, поскольку фотосинтез не прерывается в течение года.

С развитием и восстановлением сообщества связана еще одна важнейшая функция БР — репарационная. Виды выполняют различные роли в ходе автогенетической сукцессии — смены стадий развития от пионерной до климаксной. Пионерные виды нетребовательны в отношении качества и устойчивости среды и обладают высоким репродуктивным потенциалом. Стабилизируя среду, они постепенно уступают место более конкурентоспособным видам. Этот процесс идет к заключительной фазе (климаксу), способной длительное время удерживать территорию, пребывая в состоянии динамического равновесия. Поскольку разнообразные внешние воздействия постоянно нарушают сукцессию, моноклимакс чаще всего остается теоретической возможностью. Стадии развития не замещаются полностью, а сосуществуют в сложных сукцессионных системах, обеспечивая им возможность восстановления после разрушительных воздействий. Функцию восстановления обычно выполняют быстро размножающиеся пионерные виды.

Было бы преувеличением утверждать, что мы можем точно определить функциональное назначение каждого вида в любой из многочисленных экосистем. Изъятие вида тоже далеко не всегда приводит к их разрушению. Многое при этом зависит от сложности экосистемы (в арктических сообществах с относительно простой трофической структурой удельный вес каждого вида много выше, чем в тропиках), ее сукцессионной и эволюционной стадии развития, определяющей перекрытие (дублирование) экологических ниш и избыточность структурных элементов. При этом дублирование и избыточность в теории систем рассматриваются как факторы устойчивости, т. е. имеют функциональный смысл.

Все вышеизложенное позволяет заключить, что случайный элемент в БР не играет существенной роли. БР функционально. Каждый его компонент формируется системой, в которую он входит, и в свою очередь, по принципу обратной связи, определяет особенности ее структуры.

В целом БР отражает пространственно-временную и функциональную структуру биосферы, обеспечивая: 1) непрерывность живого покрова планеты и развития жизни во времени, 2) эффективность биогенных процессов в экосистеме, 3) поддержание динамического равновесия и восстановление сообществ.

Этими назначениями определяется структура БР на всех иерархических уровнях его организации.

Структура биологического разнообразия

Генетический материал у большинства организмов содержится в огромных молекулах ДНК и РНК, нитчатых полинуклеотидов, имеющих вид кольцевой хромосомы или набора линейных хромосом, которые чрезвычайно разнообразны по общему содержанию ДНК, числу, форме, развитию различных видов гетерохроматина, а также по типам перестроек, в которых они участвуют. Все это создает разнообразие геномов как сложных систем, состоящих — у высших организмов — из десятков тысяч дискретных генетических элементов, или генов. Их дискретность носит структурный характер (например, уникальные или многократно повторяющиеся последовательности нуклеотидов) или выражена функционально, как у кодирующих белки, воспроизводимых как одно целое, совместно управляемых, участвующих в перекрестном обмене между парными хромосомами и, наконец, перемещающихся по геному элементов. Когда молекулярные механизмы не были изучены, представление о гене носило абстрактный характер и его наделяли всеми этими функциями, но сейчас известно, что их выполняют структурно различающиеся генетические частицы, которые составляют разнообразие типов генов.

В результате изменений нуклеотидного состава, или мутаций, аналогичные участки парных хромосом имеют различное строение. Такие участки — хромосомные локусы, известные в нескольких состояниях, называют полиморфными. Генетический полиморфизм трансформируется в полиморфизм белков, который изучают молекулярно-генетическими методами, и в конечном счете, в генетическое разнообразие организмов. На этих производных уровнях разнообразие генов предстает в опосредованном виде, так как признаки определяются генетической системой, а не отдельными генами.

Н. И. Вавилов показал на обширном материале, что разнообразие наследственных признаков у близких видов повторяется с такой точностью, что можно предсказать существование еще не найденного в природе варианта*. Таким образом была вскрыта упорядоченность генетической изменчивости (вопреки представлениям о непредсказуемости мутаций), в которой проявляются свойства генома как системы. Это фундаментальное обобщение, сформулированное как закон гомологических рядов, лежит в основе исследования структуры БР.

Передача наследственной информации от одного поколения к другому осуществляется в процессе размножения организмов, которое может быть бесполым, половым, в виде чередования

* Вавилов Н. И. Закон гомологических рядов наследственной изменчивости.— Л.: Наука, 1967.

бесполых и половых поколений. На это разнообразие накладываются различия в механизмах определения пола, разделения полов и т. д. Достаточно вспомнить о видах рыб, состоящих из одних самок (размножение стимулируется самцами других видов) или способности самок превращаться в самцов, если таковых не хватает, чтобы представить себе разнообразие процессов воспроизводства у позвоночных, не говоря уже о таких организмах, как грибы, где оно во много раз выше.

Организмы, участвующие в размножении, составляют репродуктивные ресурсы вида, которые структурированы в соответствии с разнообразием репродуктивных процессов. В качестве единиц системы воспроизводства выступают демы — локальные группировки скрещивающихся особей и популяции — более крупные группировки в пределах ландшафта или экосистемы. Соответственно различают географические и ценотические популяции, хотя их границы могут совпадать.

В процессе размножения происходит рекомбинация генов, которые как бы принадлежат популяции в целом, составляя ее генофонд (о генофонде говорят также в более широком смысле как о совокупности генов фауны или флоры; отчасти это оправдано, так как возможен хотя бы эпизодический обмен генами при гибридизации или переносе генетического материала микроорганизмами). Единство популяции, однако, обеспечивается не только общим генофондом, но и вхождением в географические или биологические системы более высокого уровня.

Популяции соседних ландшафтов или экосистем всегда демонстрируют определенные различия, хотя они могут быть настолько близки, что систематики считают их одним видом. В сущности вид — это совокупность популяций ряда исторически взаимосвязанных ландшафтных и (или) ценотических комплексов. Целостность вида как системы обусловлена исторической общностью входящих в него популяций, потоком генов между ними, а также их адаптивным сходством в силу близких условий существования и ценотических функций. Последние факторы действенны и в отношении асексуальных организмов, определяя всеобщее значение вида как основной единицы биологического разнообразия (нередко встречающееся гипертрофированное представление о половом переносе генов как наиболее существенном критерии биологического вида заставляет видеть в нем категорию, свойственную исключительно раздельнополым организмам, что противоречит таксономической практике).

Свойства вида определяются, как мы уже отмечали, той частью экологического пространства, которую он устойчиво занимает, т. е. экологической нишей. На ранних стадиях развития биологического сообщества наблюдается значительное перекры-

тие экологических ниш, но в сложившей ценотической системе виды, как правило, занимают достаточно обособленные ниши. Вместе с тем возможен переход из одной ниши в другую в процессе роста (например, у прикрепленных форм с подвижными личинками), вхождение в различные сообщества в одних случаях в роли доминанта, в других — второстепенного вида.

Среди специалистов существуют определенные разногласия в отношении природы биотических сообществ — то ли случайные собрания видов, нашедших для себя подходящие условия, то ли целостные системы, подобные организмам. Эти крайние точки зрения скорее всего отражают разнообразие сообществ, совершенно неравноценных по своим системным свойствам. Также и виды в разной степени чувствительны к своему ценотическому окружению, от независимых (условно, поскольку они принадлежат сообществам более высоких рангов) до «верных», по которым выделяют ассоциации, союзы и классы. Этот классификационный подход был разработан в Центральной Европе и сейчас находит широкое признание*. Более грубая «физиономическая» классификация по доминирующим видам принята в северных странах, где относительно однородные лесные формации еще занимают огромные пространства. В пределах ландшафтно-климатических зон группы характерных формаций образуют биомы (тундр, таежных лесов, степей и т. д.) — крупнейшие ландшафтно-ценотические подразделения биосферы.

Эволюция биологического разнообразия

БР развивается в процесс взаимодействия между биосферой и физическими оболочками Земли, на которые она наложена. Движение земной коры и климатические события вызывают адаптационные изменения макроструктуры биосферы. Например, ледниковый климат характеризуется более высоким разнообразием биомов, чем безледниковый. Не только полярные пустыни, но и влажные тропические леса обязаны своим существованием системе циркуляции атмосферы, которая формируется под воздействием полярных льдов (см. выше). Структура биомов, в свою очередь, отражает контрастность рельефа и климата, разнообразие геологических субстратов и почв — гетерогенность среды в целом. Видовое разнообразие входящих в их состав сообществ зависит от дробности деления экологического пространства, а это последнее — от устойчивости условий. В целом число видов $S = \alpha \cdot \beta \cdot \gamma$, где α — разнообразие видов в сообществах, β — разнообразие сообществ и γ — разнообразие биомов. Эти компо-

* Баркман Я. Ботанический журнал, 1989, 74(11):1545—1551. Миркин Б. М. Биологические науки, 1989, 10:18—27.

ненты изменяются с определенной периодичностью, перестраивая всю систему БР. Например, в мезозое (безледниковый климат) разнообразие растений приблизительно соответствует современному в аналогичных формациях жестколистных кустарников и летнезеленых лесов, но общее число видов примерно вдвое меньше современного за счет низкого γ разнообразия.

Генетическое разнообразие в свою очередь изменяется как функция адаптивной стратегии видов. Фундаментальное свойство популяции состоит в том, что теоретически при ее воспроизведении частоты генов и генотипов сохраняются из поколения в поколение (правило Харди — Вайнберга), изменяясь только под воздействием мутаций, дрейфа генов и естественного отбора. Возникающие в результате мутаций варианты структуры генетических локусов — аллели — зачастую не имеют адаптивного эффекта и составляют нейтральную часть полиморфизма, подверженную случайным изменениям — дрейфу генов, а не направленному отбору — отсюда модель «недарвиновской» эволюции.

Хотя эволюция популяционного разнообразия всегда представляет собой суммарный результат дрейфа и отбора, их соотношение зависит от состояния экосистем. Если структура экосистемы нарушена, стабилизирующий отбор ослаблен, то эволюция приобретает некогерентный характер: генетическое разнообразие возрастает за счет мутагенеза и дрейфа без соответствующего роста видового разнообразия. Стабилизация экосистемы направляет стратегию популяций на более эффективное использование ресурсов. При этом более выпукло проявляющаяся неоднородность («грубозернистость») среды становится фактором отбора генотипов, наиболее приспособленных к «зерну» ландшафтно-ценотической мозаики. Вместе с тем нейтральный полиморфизм приобретает адаптивное значение, соотношение дрейфа и отбора изменяется в пользу последнего. Прогрессирующая дифференциация демов становится основой дробления видов. Устойчиво развиваясь в течение тысячелетий, эти процессы создают исключительно высокое видовое разнообразие.

Система, таким образом, направляет эволюцию входящих в нее организмов (отметим во избежание недоразумений, что не входящих в ценотические системы организмов не существует; даже так называемые ценофобные группы, нарушающие развитие сообщества, входят в системы более высокого ранга).

Сквозная эволюционная тенденция состоит в увеличении разнообразия, прерываемом резкими спадами в результате массовых вымираний видов (около половины в конце эры динозавров, 65 миллионов лет назад). Периодичность вымираний совпадает с активизацией геологических процессов (движений

земной коры, вулканизма) и климатическими перестройками, указывая на общую причину.

В прошлом Ж. Кювье объяснял подобные кризисы прямым уничтожением видов в результате морских трансгрессий и других катастроф. Ч. Дарвин и его последователи вообще не признавали кризисов, относя их за счет неполноты геологической летописи. Сейчас кризисы ни у кого не вызывают сомнений; более того, мы переживаем один из них. Общее объяснение кризисов дает экосистемная теория эволюции (см. выше), согласно которой сокращение разнообразия происходит вследствие неустойчивости среды, определяющей тенденцию к 1) упрощению структуры экосистем (часть видов оказывается излишней), 2) прерыванию сукцессий (виды заключительной — климаксной — стадии обречены на вымирание) и 3) увеличению минимальных размеров популяции (в устойчивой среде небольшое число особей обеспечивает воспроизведение, возможна «плотная упаковка» видов, но в условиях кризиса малочисленная и неспособная к быстрому росту популяция может легко исчезнуть).

Эти закономерности действительны и для антропогенного кризиса наших дней.

Воздействие человека на биологическое разнообразие

Прямые предки человека появились около 4,4 млн. лет назад, в начале палеомагнитной эпохи Гилберта, отмеченной экспансией оледенения в Антарктике, аридизацией и распространением травянистой растительности в низких широтах. Местообитания, пограничные между тропическим лесом и саванной, относительно слабая специализация зубов, анатомия конечностей, приспособленных как к передвижению по открытой местности, так и к древесной акробатике, свидетельствуют о широкой экологической нише австралопитека африканского, древнейшего представителя этой группы. В дальнейшем эволюция входит в когерентную фазу, возрастает видовое разнообразие. Две линии адаптивной радиации — австралопитеки грациозные и массивные — развивались по пути пищевой специализации, в третьей — Homo habilis — на уровне 2,5 млн. лет появились признаки орудийной деятельности как предпосылка расширения пищевой ниши.

Последняя оказалась более перспективной в неустойчивых условиях ледникового периода, кризисным фазам которого соответствует широкое распространение полиморфных видов человека «прямоходящего» и позднее «разумного» с характерным для некогерентной эволюции несоответствием между высоким генетическим и низким видовым разнообразием. Каждая из них затем входила в фазу подвидовой дифференциации. Около 30 тыс лет назад специализированный неандертальский подвид

«разумного» был вытеснен номинативным подвидом, дробление которого шло уже по линии культурной, а не биологической эволюции. Широкие приспособительные возможности обеспечили ему относительную независимость от локальных экосистем, перерастающую последнее время в ценофобию. Как мы уже отмечали, ценофобия возможна лишь до определенного уровня иерархии природных систем. Ценофобия в отношении биосферы в целом обрекает вид на самоуничтожение.

Человек оказывает воздействие на все факторы БР — пространственно-временную разнородность условий, структуру экосистем и их устойчивость. Нарушение климаксного сообщества в результате рубок или пожаров может дать некоторое увеличение видового разнообразия за счет пионерных и сукцессионных видов*. Пространственная неоднородность в ряде случаев возрастает (например, происходит расчленение обширных лесных массивов, сопровождающееся некоторым ростом видового разнообразия). Чаще человек создает более однородные условия. Это выражается в выравнивании рельефа (на урбанизированных территориях), сведении лесов, распашке степей, осушении болот, интродукции заносных видов, вытесняющих местные и т. д.

Влияние человека на временные факторы выражается в многократном ускорении естественных процессов, таких как опустынивание или усыхание внутренних морей (например, Аральского, которое в прошлом неоднократно усыхало и без участия человека). Воздействие человека на глобальный климат дестабилизирует биосферные ритмы и создает общую предпосылку к упрощению структуры наземных и водных экосистем, а следовательно, и к утрате БР.

За два последних десятилетия леса сократились почти на 200 млн. га, и в настоящее время ущерб составляет около 1% оставшейся площади в год. Эти потери распределены весьма неравномерно: наибольший ущерб нанесен тропическим лесам Центральной Америки, Мадагаскара, юго-восточной Азии, но и в умеренной зоне на грани исчезновения такие лесные формации, как редвуд в Северной Америке и Китае (метасеквойя), маньчжурские чернопихтарники в Приморье и др. В пределах степного биома практически почти не осталось ненарушенных местообитаний. В США утрачено более половины водно-болотных угодий, в Чаде, Камеруне, Нигерии, Индии, Бангладеш, Таиланде, Вьетнаме, на Новой Зеландии — более 80%**.

Утрату видов в связи с нарушением местообитаний трудно оценить, так как методы учета видового разнообразия весьма несовершенны. Если принять для тропических лесов «умеренную» оценку разнообразия насекомых в 5 млн. видов и число

* Sanford R. L. et al. Science, 1985, 227:53—55.
** McNeely J. A. Biodiversity Conservation. 1992, 1:2—18.

видов пропорциональным корню четвертой степени площади, то потери в связи со сведением лесов составят 15000 в год. Действительные потери могут значительно отличаться от расчетных. Например, в Карибском регионе сохранилось не более 1% первичных лесов, но разнообразие местных видов птиц сократилось лишь на 11%, так как многие виды сохранились во вторичных лесах*. Еще более проблематична оценка сокращения БР почвенной биоты, достигающей 1000 видов беспозвоночных на 1 кв. м. Утрата почвенного покрова в результате эрозии суммарно оценивается в 6 млн. га в год — на этой площади может обитать около $6 \cdot 10^7$ видов.

Вероятно, наиболее значительные потери видового разнообразия связаны с хозяйственным освоением и загрязнением экосистем, отличающихся особенно высоким уровнем эндемизма. К ним относятся жестколистные формации Средиземноморья и Капской провинции на юге Африки (6000 эндемичных видов), а также рифтовые озера (Байкал — около 1500 эндемиков, Малави — более 500).

По (McNeely, 1992) утраты видового разнообразия по группам с 1600 г. составляют:

	исчезло	под угрозой
высшие растения	384 вида (0,15%)	18699 (7,4%)
рыбы	23 —»— (0,12%)	320 (1,6%)
амфибии	2 —»— (0,05%)	48 (1,1%)
рептилии	21 —»— (0,33%)	1355 (21,5%)
птицы	113 —»— (1,23%)	924 (10,0%)
млекопитающие	83 —»— (1,99%)	414 (10,0%)

Нарушение структуры и функции экосистем связано с их исиспользованием в качестве сырьевых, рекреационных и депозитных (для размещения отходов) ресурсов, причем сырьевое и депозитное использование могут давать прямо противоположные результаты. Так, перевыпас, изъятие пологообразующих деревьев или промысловых животных нарушают трофическую структуру и нередко возвращают экосистему на ранние стадии развития, задерживая сукцессию. В то же время поступление органических загрязнений в водоемы ускоряет сукцессию, проводя экосистему через эвтрофное состояние к гипертрофному.

Численность человеческой популяции мало зависит от численности истребляемого вида, поэтому обратная связь в системе «хищник—жертва» нарушается, и человек получает возможность полностью истребить тот или иной вид жертвы. Кроме того, в своей роли сверххищника человек истребляет не слабых и больных, а наоборот наиболее полноценных особей (это от-

* Lugo A. E. In: Biodiversity, Wash. Natl. Acad. Press, 1988.

носится и к практике лесозаготовителей валить в первую очередь самые мощные деревья).

Однако наибольшее значение имеет косвенный ущерб от воздействий, нарушающих сбалансированные соотношения и процессы в экосистемах и тем самым изменяющих направленность эволюции видов. Эволюционные изменения происходят в результате мутагенеза, дрейфа генов и естественного отбора. Радиационные и химические загрязнения обладают мутагенным действием. Изъятие биологических ресурсов — значительной части природных популяций — превращается в фактор дрейфа генов, форсируя естественные колебания численности, утрату генетического разнообразия и давая преимущество генотипам с ускоренным половым созреванием и высоким репродуктивным потенциалом (в силу этого неизбирательное изъятие обычно ведет к ускорению полового созревания и измельчанию). Направленность естественного отбора может измениться под воздействием разнообразных—биологических, химических, физических (шумовых, электромагнитных и т.д.) — загрязнений. Биологическое загрязнение — целенаправленная или случайная интродукция чуждых видов и биотехнологических продуктов (включая лабораторные штаммы микроорганизмов, исскусственные гибриды и трансгенные организмы) — обычный фактор утраты естественного БР. Наиболее известные примеры — вселение плацентарных в Австралию (фактически реинтродукция, так как они обитали на этом континенте много миллионов лет назад), элодеи в водоемы Евразии, гребневика в Азовское море, амфиподы Corophium curvispinum в Рейн из Понто-Каспийского региона (с первого появления в 1987 г. численность этого вида возросла до 100 тыс. особей на 1 кв. м., конкурируя с местными видами зообентоса, которые служат пищей промысловым рыбам и водоплавающим птицам). Биологическому загрязнению несомненно способствует изменение местообитаний в результате физических и химических воздействий (повышение температуры и солености, эвтрофирование в случае вселения амфипод — термофильных фильтраторов).

В ряде случаев воздействие вызывает цепную реакцию с далеко идущими последствиями. Например, поступление в прибрежные воды эвтрофирующих веществ с континента и от марикультуры вызывает цветение динофлаеллят, вторичное загрязнение токсичными веществами — гибель китообразных и увеличение растворимости карбонатов — гибель кораллов и других скелетных форм бентоса*. Кислотообразующие загрязнения водоемов, помимо прямого воздействия на дыхание (осаждение алюминия на жабрах) и репродуктивную функцию рыб и амфибий, создает угрозу исчезновения многих видов водных

* New Scientist, 1990, 1774:36.

позвоночных и околоводных птиц из-за сокращения биомассы личинок веснянок, поденок, хирономид.

Сокращение разнообразия птиц нередко связано со вспышками гнездового хищничества и паразитизма в нарушенных ландшафтах. Даже эпизодическое посещение человеком колоний морских птиц способствует разорению гнезд. В этом отношении особых мер предосторожности требуют научно-исследовательские работы. Даже у таких наименее пугливых птиц как, пингвины адели, сердцебиение учащается (показатель стресса) на 50% при приближении человека и на 250% при отлове и взвешивании*. После вертолетных облетов отмечается множество брошенных гнезд. Беспокойство может быть существенным фактором сокращения численности пингвинов (наряду с добычей криля). Недавно было показано**, что остававшееся долгое время загадочным выбрасывание на берег и гибель китов—следствие морских маневров с участием подводных лодок.

Те же факторы изменяют соотношение генотипов в популяциях животных и растений, давая преимущество более устойчивым к различным видам стресса.

Загрязнение также становится мощным фактором естественного отбора. Классический пример — увеличение частоты меланистической формы бабочек Biston betularia в промышленных районах, которое пытались объяснить тем, что на покрытых сажей стволах они менее заметны для птиц, чем светлые формы. Это уже давно ставшее хрестоматийным объяснение кажется наивным, поскольку в условиях загрязнения меланистические формы оказываются более устойчивыми у многих видов, включая домашних кошек и людей. Этот пример предостерегает от упрощенных представлений о воздействии человека на БР.

Сохранение биологического разнообразия

В древности, как мы уже отмечали, тотемизм и выросшие из него религиозные представления способствовали сохранению отдельных видов и их местообитаний. Сохранением таких реликтов, как гинкго мы обязаны главным образом религиозным ритуалам восточных народов. В Северной Америке европейские колонисты перенимали у местных племен их нормативное отношение к природе, тогда как в европейских феодальных странах природа сохранялась, главным образом, в качестве королевских охотничьих угодий и парков, которыми аристократия ограждала себя от слишком тесных контактов с простонародьем.

* Nature. 1991, 351 340.
** Nature. 1991, 351·448.

В ранних демократиях моральные и эстетические мотивы были вытеснены экономическими, нередко вступавшими в конфликт с сохранением БР. Особенно уродливые формы утилитарное отношение к природе приобрело в тоталитарных странах. П. А. Мантейфель, выражая официальную установку, писал в 1934 г.: «Эти группировки (животных) сложились без влияния (воли) человека и не отвечают в большинстве тому экономическому эффекту, который мог бы получиться при рациональном изменении зоологических границ и сообществ, а поэтому мы выдвигаем вопрос о реконструкции фауны, где, в частности, искусственное переселение животных должно занять видное место»*.

Тем не менее новая аристократия — партийное руководство и близкие к нему лица — тоже нуждалась в охраняемых охотничьих угодьях, получивших название охотничье-заповедных.

В 60-х годах заповедники подверглись двукратному сокращению в связи с экстенсивным развитием экономики. К тому же отведение огромных площадей под монокультуру крайне неблагоприятно сказалось на состоянии БР. В начале 80-х для выполнения «продовольственной программы» распахивали обочины дорог, межи и неудоби, лишая дикие виды последних убежищ в освоенных районах.

К сожалению, эти тенденции получили дальнейшее развитие в период перестройки в связи с передачей бросовых земель фермерам и развитием частного предпринимательства в условиях законодательного хаоса. Самозахват земли под огороды, сведение лесов в зеленых поясах вокруг городов, нелегальная добыча редких видов и свободная распродажа биологических ресурсов стали обычной практикой. Заповедники никогда не пользовались большой популярностью на местах и с ослаблением контроля подвергаются все большему давлению со стороны хозяйственных структур и браконьеров. Развитие международного туризма наносит ущерб территориям, которые ранее охранялись как режимные. К ним относятся военные полигоны и приграничные земли (в Германии полоса отчуждения 600x5 км за годы противостояния превратилась в своего рода заповедник, который теперь вытаптывают толпы туристов).

В то же время есть основание надеяться на улучшение ситуации (и, в частности, превращение бывших режимных территорий в заповедники) благодаря всеобщему признанию приоритетности сохранения БР. Ближайшая задача заключается в разработке и укреплении национальных программ. Отметим некоторые возникающие в этой связи принципиальные моменты.

Инвентаризация и охрана биологического

* Цит. по: Штильмарк Ф. Р., Сухомиров Г. И. Бюл. МОИП, 1991, 96:77—86.

разнообразия. Выявление видовой структуры во многих случаях необходимо для организации охраны. Например, новозеландская гаттерия (туатара), единственный представитель древнейшей группы клювоголовых рептилий, охраняется с 1895 г., но лишь недавно выяснилось, что существует два вида гаттерии с подвидами, причем один из видов, S. guntheri и подвид другого, S. punctata reischeki оказались на грани вымирания, а десять из сорока популяций уже исчезли;* перед традиционной систематикой в области сохранения БР еще непочатый край работы.

Вместе с тем довольно часто высказываемая мысль о том, что для сохранения необходимо прежде всего инвентаризировать все таксономическое разнообразие, носит несколько демагогический оттенок. Не может быть и речи о том, чтобы описать все многомиллионное разнообразие видов в обозримом будущем. Виды исчезают, так и не удостоившись внимания систематика. Более реалистический подход заключается в разработке достаточно детализированной синтаксономической классификации сообществ и организации охраны ин-ситу на этой основе. Охрана системы высшего уровня в известной мере обеспечивает сохранение ее компонентов, часть из которых мы не знаем или знаем в самых общих чертах (но по крайней мере не исключаем возможности узнать в будущем). В следующих разделах мы рассмотрим некоторые принципы организации охраны на синтаксономической основе, позволяющие охватить все или большую часть таксономического разнообразия.

Сочетание прав человека с правами животных. Признание прав животных не означает отказа от их использования. В конце концов, людей тоже используют на легальных основаниях. Нельзя не признать справедливым, что человек имеет больше прав, чем животное, подобно тому как у взрослого их больше, чем у ребенка. Однако, не впадая в экологический терроризм, носящий большей частью провокационный характер, следует все же признать, что разумное использование не имеет ничего общего с убийством ради удовольствия или по прихоти, а также с жестоким экспериментированием, которое к тому же большей частью бессмысленно, поскольку перенесение выводов на человека представляется по меньшей мере рискованным. В то же время жестокость по отношению к животным или невольное соучастие в ней наносит несомненный моральный ущерб. Поэтому можно с полным основанием считать, что антививисекционистские кампании проводятся в интересах человека.

Кроме того, следует различать права отдельного животного и права вида животных, которые не должны быть меньше, чем

* Daugherty C. H. et al. Nature, 1990, 347:171—179.

у человеческого вида. Я уже упоминал о том, что человек далеко не сразу пришел к мысли о своем первенстве среди всех живых существ, что тотемические отношения возводили животных в ранг старших родственников (с которыми не следовало вступать в половую связь). Убеждение в собственном превосходстве сложилось в период борьбы современных религий с тотемизмом и ниспровержения зооморфных кумиров. Животным было отказано в высших проявлениях духа. Эти убеждения оказались тем более живучими, что современный человек видит диких животных только в клетке. В этой связи особое значение приобретают формы охраняемых территорий (в частности, этноэкологических), на которых люди постоянно живут рядом с дикими животными, не вытесняя их (когда-то именно такие отношения ассоциировались с представлением о рае).

Сочетание этических принципов и экономических интересов. В то время как сохранение БР живой природы диктовалось этическими и эстетическими нормами, экономические интересы постоянно вступали с ними в противоречие, создавая угрозу утраты БР. Этот конфликт долгое время казался неизбежным. Однако постепенно пришло понимание необходимости сохранения по крайней мере тех компонентов БР, от которых зависит качество среды обитания человека. Стало очевидным значение эталонов природы для восстановления биологических ресурсов, пополнения генофонда и оценки (нормирования) воздействий. Развитие современных биотехнологий показало возможность использования неприметных компонентов БР как доноров генетического материала. И, наконец, люди проявили готовность оплачивать свои этические, эстетические и познавательные потребности, тем самым сделав их удовлетворение экономически выгодным. За возможность увидеть дикого зверя в естественных условиях теперь платят (или скоро будут платить) больше, чем за его шкуру. А это уже своего рода гарантия сохранения БР.

Сохранение и естественная эволюция биологического разнообразия. Среди специалистов нет полного согласия относительно стратегии сохранения БР. В то время как Всемирный фонд природы сделал панду своим эмблематическим животным, известный палеонтолог Дерек Эгер считает, что с этим малоэффективным видом (слабое зрение, плохой слух, неразвитое обоняние, низкая усваиваемость пищи, трехдневная течка) так или иначе придется распроститься. Таков закон природы, что смерть расчищает место для новой жизни. Если бы не вымерли динозавры, не было бы и человека*.

* Ager D New Scientist, 1991, June.

В логике подобных рассуждений есть погрешности как частного, так и общего порядка. По-видимому, органы чувств панды развиты настолько, насколько этого требуют ее условия существования (известны вполне жизнеспособные виды, полностью лишенные зрения), а кратковременная течка способствует сохранению численности на экологически приемлемом уровне. Далее точка зрения Д. Эгера практически исключает представление об эволюции самого эволюционного процесса. Если в прошлом массовые вымирания были своего рода необходимостью, то смысл эволюции как раз и заключается в том, чтобы исключить возможность подобных явлений в будущем.

В отношении видов, рассматриваемых как вредные и подлежащие уничтожению, следует заметить, что (1) способы уничтожения подчас наносят больший вред, чем сам вредный вид (это в первую очередь относится к пестицидам), (2) эти виды играют определенную — нередко стабилизирующую — роль в природных экосистемах и (3) опустошение экологической ниши открывает путь новым вредителям, к борьбе с которыми мы не подготовлены (так СПИД заместил сифлис).

Потенциальное биологическое разнообразие

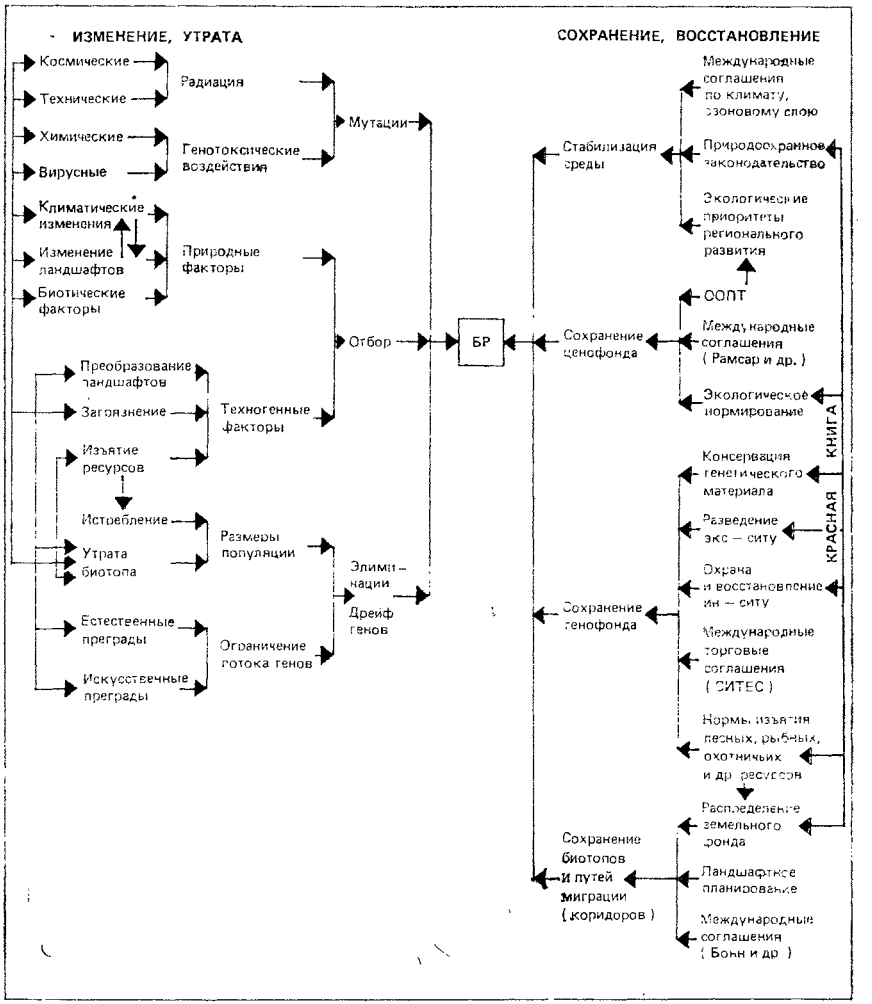
Для систематизации наших представлений о стабилизации БР рассмотрим каузальную схему, левая часть которой показывает иерархию факторов риска, правая — факторов сохранения. К факторам риска относятся мутации, отбор и элиминация или неизбирательное сокращение популяций, в результате которой происходит утрата части генетического разнообразия (дрейф генов). В каждый из них вносят свой вклад техногенные факторы — радиационные и химические генотоксичные воздействия, изменение среды в результате загрязнения, изъятие ресурсов, изменение ландшафта (появление искусственных преград, ограничивающих поток генов между популяциями). Выделив управляемые факторы и оценив относительный вес каждого из них, мы получим модель анализа риска (см. следующие разделы).

Такую же процедуру можно проделать с факторами сохранения, которые на первом иерархическом уровне делятся на меры стабилизации среды в глобальном и региональном планах, сохранение сообществ и экосистем, составляющих ценофонд (этой цели служит система особо охраняемых природных территорий, ООПТ, международные конвенции и соглашения о наиболее уязвимых экосистемах, в частности, водно-болотных — Рамсарская конвенция, а также нормирование антропогенных нагрузок на экосистемы), стабилизация генофонда с помощью восстановления исчезающих видов в искусственных условиях (экс-ситу) и природе, консервация генетического ма-

териала, нормирование хозяйственного использования и торговые соглашения (конвенция о торговле редкими видами, СИТЕС), охрана биотопов как часть ландшафтного планирования и соглашения о мигрирующих видах, в частности, Боннская конвенция.

Если произвести оценки в соизмеримых единицах, то для стабилизации БР суммы правой и левой частей должны при-

Факторы изменения и сохранения биологического разнообразия. (Схема типа «модели причин и следствий»: Coughlan A. K., Armour C. L., Fish and Wildlife Serv. Publ., 1992, 185).



мерно совпадать. Уровень, на котором желательно сохранить БР, представляет собой цель этой программы. В большинстве случаев часть БР уже утрачена и задача состоит в том, чтобы ее восполнить. В некоторых ситуациях необходимо сократить БР за счет синантропных видов. Так или иначе необходим ориентир — потенциальное естественное БР, к которому следует стремиться.

Теоретически БР есть функция распределения трофических ресурсов. Потенциальное число организмов (n), соответствующее несущей способности среды, определяется потреблением критического ресурса (например, фосфора в почве, P) на особь. При этом число видов среди n организмов стремится к максимуму (S_{max}) с уменьшением размеров популяций до минимальных, обеспечивающих устойчивое воспроизведение (N_{min}). Последнее зависит главным образом от устойчивости среды, которую можно в первом приближении оценить по перепаду экстремальных значений температуры (T_{max}—T_{min}). Таким образом,

$$S'_{max}\frac{N'_{min}}{n'} \sim \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i}{P_i(T_{max}-T_{min})}$$

На следующем трофическом уровне ресурсный предел составляет 10% биомассы видов S′, т. е. $S'' \sim \frac{10\% Bs'}{N''_{min}}$ и т. д. Однако в силу неопределенности этих зависимостей приходится обратиться к эмпирическим закономерностям.

Трудно определить, какую часть всего БР составляют описанные 1,5 млн. видов. Даже в относительно хорошо изученных группах позвоночных, составляющих не более 2% всего видового разнообразия, каждый год прибавляется около 20 новых видов. В то же время огромное видовое богатство полога тропического леса, почвы и морского дна еще практически не изучено: случайное опробование приносит до 60% новых видов.

В пробах, взятых на континентальном склоне Северной Америки, около 64% полихет и 37% моллюсков оказались представителями новых видов. По расчету на каждые 100 км прибавляется примерно 100 видов, что позволяет выйти на цифру около 10 млн. видов *, которая, однако, может оказаться существенно завышенной из-за неравномерного распределения донных организмов. Во всяком случае число известных науке видов должно быть по меньшей мере удвоено.

* Grassle J. F., Maciolek N. J. Am. Nat., 1992, 138:313—341.

Сенсационные результаты были получены при изучении разнообразия тропических насекомых методом окуривания деревьев инсектицидами. В лесных сообществах с определившейся структурой древесные виды имеют определенный набор постоянно связанных с ними видов, образующих более или менее четко очерченные консорции. Принимая, что в тропическом лесу 50 тыс. видов деревьев, на каждый из которых приходится около 163 видов специфических для него жуков, что жуки составляют около 40% всех членистоногих и что видовое разнообразие полога вдвое выше наземного, Т. Эрвин получил цифру 30 млн. видов. Другие исследователи, внося поправки в расчет видоспецифичности (коэффициент перекрытия консорций) и соотношения пологовых и наземных видов, получают цифры порядка 6—8 млн.* В любом случае такого рода экстраполяционные расчеты остаются необходимостью, так как прямые оценки в большинстве случаев практически невозможны. Тем не менее желательно в качестве точки отсчета иметь представление о естественном уровне БР, который надлежит сохранить или восстановить (задача состоит вовсе не в том, чтобы любыми путями увеличить БР: природа — не зоопарк). Такой точкой отсчета может быть «потенциальное БР», соответствующее сложности структуры экосистем, которая в свою очередь определяется их пространственной гетерогенностью и устойчивостью во времени.

Теоретически виды могут сосуществовать, если внутривидовая конкуренция больше межвидовой и, соответственно, разнообразие ресурсов, используемых каждым видом (w), большие числа разделяемых ресурсов (d) : $d/w > 1$**. Число видов, таким образом, может быть в принципе предсказано на основе моделей структуры экологического пространства («ломанного шеста», по Р. Макартуру, и последовательных дихотомических членений, по Г. Сугихаре). Если один из компонентов БР достаточно изучен, то возможны приближенные оценки остальных компонентов, исходя из постоянных соотношений между таксономическими группами (если относительно хорошо изученные бабочки обычно составляют около 0,3% локальных энтомофаун, а всего их около 20 тыс. видов, то общее число видов насекомых около 6,6 млн.), жизненными формами (например, Т. Эрвин при расчете разнообразия насекомых тропического леса пользовался соотношением фитофагов, хищников, сапрофагов как 20:5:5), ярусами трофической пирамиды и, наконец, размерными группами (по Р. Мэю, число видов пропорционально длине тела в степени — 1/5). Использование такого показателя, как

* Thomas C. D. Nature, 1990, 347÷237.
** May R. M. Ecology, 1986, 67:1115—1126.

«связность», основано на представлении об обратной корреляции между числом парных трофических связей и видовым богатством, которое, впрочем, не всегда подтверждается*. Эти закономерности нуждаются в проверке на региональном уровне.

Поскольку теория БР пока недостаточно разработана для построения расчетной модели, наиболее практичным методом оценки остается экстраполяция БР заповедников, где оно близко к естественному, на более обширную территорию. При этом можно воспользоваться зависимостью между разнообразием и площадью, которая выражается формулой островной биографии**.

$$N_s = xS^{1/2},$$

где N_s—число видов, S — площадь, x — коэффициент, изменяющийся в пределах 0,15—0,35. Существует еще ряд формул, но все они основаны на весьма ограниченном экспериментальном материале (по грубым оценкам, десятикратному увеличению площади соответствует удвоение разнообразия).

Подобным оценкам должна предшествовать инвентаризация БР заповедников и других особо охраняемых природных территорий как основа всех дальнейших исследований.

Репрезентативность сети особо охраняемых природных территорий (ООПТ)

Оценка репрезентативности ООПТ приобретает практическое значение в связи с планируемым расширением сети от немногим более 1% территории страны в настоящее время до приблизительно 3% к концу века. Репрезентативность включает показатели разнообразия биогеографического, биоценотического и видового уровней. В первом случае оценивается равномерность распределения ООПТ относительно биогеографических районов, во втором — представленность типичных зональных и региональных сообществ, которая в известной мере гарантирует репрезентативность на видовом уровне.

Представим себе, что виды сохраняются только на ООПТ, которые в этом случае можно уподобить Ноеву ковчегу. Ной, беря по паре каждого вида, должен быть уверен в том, что его выборка охватывает все или хотя бы представительную часть БР.

Если множество видов не структурировано, то выборка может быть случайной. Однако в природе подобные множества

* Wincmiller K. E. Am. Nat., 1989, 134:960—968.
** MaeArthur R. H., Wilson E. O. The theoty of island biogeography. Princeton, 1967.

всегда структурированы, и задача заключается в том, чтобы охватить все компоненты с учетом их видового разнообразия и коэффициента общности — числа общих видов в процентах от их общего числа для сравниваемых флор или фаун. Среди t компонентов (ландшафтных комплексов, экосистем) имеет смысл в первую очередь сохранить наиболее богатый видами, затем наименее сходный с ним (хотя может быть и не второй по видовому богатству), затем наиболее отличающийся от двух первых и т. д. Эффективность сети E определяется наименьшим соотношением охраняемых компонентов x к их общему числу, при котором все разнообразие оказывается охваченным: $E=1-x/t$*.

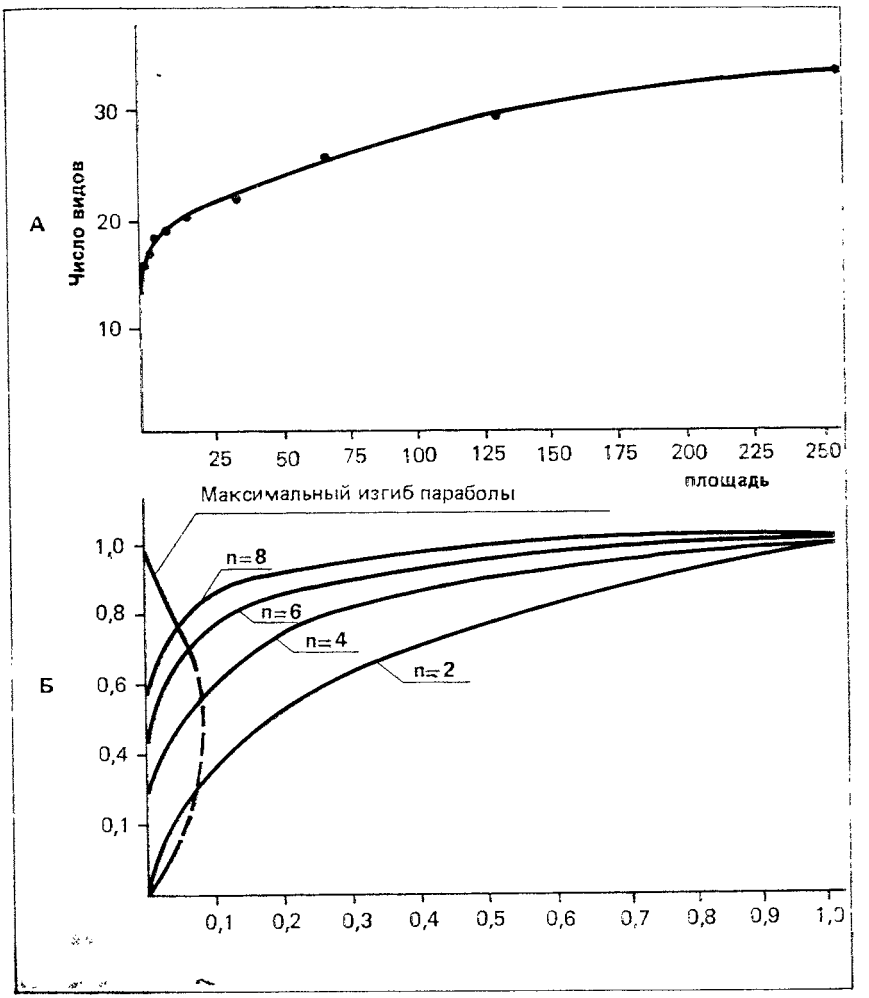
Отношение числа участков сети ООПТ к их площади определяется многими факторами, среди которых важную роль играет зависимость числа видов от площади. Графически она выражается кривой, которая вначале идет круто вверх, а затем выполаживается почти параллельно оси абсцисс, так что дальнейшее увеличение площади не дает адекватного прироста числа видов. Перегиб соответствует оптимальной площади, величина которой зависит от встречаемости видов, плотностей популяций (числа особей на единицу площади) и пестротности (расстояния между поселениями или куртинами у растений). Распределение частот видов в ненарушенных сообществах носит логарифмически нормальный характер, при котором виды со средней встречаемостью более многочисленны, чем очень частые и очень редкие. Однако в нарушенных сообществах эта зависимость может превратиться в логарифмическую — наиболее многочисленными будут редкие виды. В последнем случае площадь ООПТ должна быть увеличена, как и при высокой пестротности, которая характерна для реликтовых видов, образующих локальные поселения или целые реликтовые сообщества. Для их сохранения ряд небольших выделов может оказаться более эффективным, чем сплошной выдел большой площади.

Хотя основной принцип сохранения БР, введенный еще Ноем, заключается в том, что все виды равноценны, первоочередные меры должны быть направлены на охрану видов, находящихся под угрозой исчезновения. Это виды, численность которых подверглась резкому сокращению под воздействием человека или редкие от природы, существующие в форме мелких, но устойчиво воспроизводящихся популяций. Последние могут оказаться под угрозой вымирания вследствие нарушения местообитаний. Таким образом, редкость оказывается фактором организации ООПТ наряду с нарушенностью. При этом необходимо

* Pressey R. L., Nicholls A. O. Biol. Conserv. 1989, 50:199—218; Vane-Wright R. J. et al. Biol. Conserv. 1991, 55:235—254.

учитывать зависимость численности от размеров (в общем случае 10-кратному уменьшению размеров соответствует 500—2000-кратное увеличение числа особей*) и положения в трофи-

Зависимость между числом видов и площадью: *А*—эмпирическая; *Б*—ряд аналогичных кривых, крутизна подъема которых зависит от величины *n* в уравнении параболы ($y = ax^n$). Точка перегиба кривой (после которой увеличение площади не дает существенного прироста числа видов определяется из уравнения $y^{2n-2} = \frac{a^2}{n^2}\left(\frac{n-2}{2n-1}\right)$ по Preston F. K., Ecology, 1962,43:21



* May R. M. Ecology, 1986, 67:1115—1126.

ческой пирамиде (колебания численности в системе «хищник — жертва» с периодом $T=2\pi\ (A\cdot\tau)^{1/2}$, где A — продолжительность жизни жертвы, τ — хищника).

Охрана редких видов может быть организована в пределах заповедников и национальных парков или в виде специализированных заказников и генетических центров. В плане генетического разнообразия ценность вида определяется тем, насколько он отличается от других видов (теоретически по степени перекрытия генофондов, но практически по таксономической обособленности). Общее генетическое разнообразие одинаково в случае десяти близких видов с 60% общих генов и пяти обособленных видов с 10% общих генов. В этом смысле особую ценность представляют реликтовые виды, представляющие некогда разнообразные группы высокого ранга, например, латимерия — представитель кистеперых рыб, новозеландская туатара (гаттерия), единственный сохранившийся род клювоголовых рептилий или гинкго — уцелевший в культуре (вокруг буддистских храмов, но отлично чувствующий себя и на улицах Токио, Вашингтона, Риги) реликт древних голосеменных — лесообразователей мезозойской эры. Особый интерес для сохранения генофонда имеют стволовые виды разветвленных групп и дикие предки культурных видов. Высокая концентрация таких видов дает основание для выделения центра генетического разнообразия.

Если бы Ной заботился о сохранении генофонда, он бы не ограничился одной парой особей, так как при этом неизбежно скажется «эффект основателя» — восстановленная популяция по генетическому разнообразию будет уступать исходной. В практике заповедного дела учитывается минимальная численность охраняемых популяций, позволяющая предотвратить обеднение генофонда.

В целом эффективность ООПТ связана прямой зависимостью с разнообразием сообществ (чем больше разнообразие этого уровня, тем больше должна быть площадь охраняемой территории) и пестротностью биоценотической структуры и обратной — с минимальной численностью особо охраняемых популяций и коэффициентом общности видового состава сообществ.

Биологическое разнообразие как индикатор воздействий

Для оценки воздействий и мониторинга используют как отдельные компоненты БР, так и суммарные показатели, например, видовое богатство. В первом случае обычно ориентируются на чувствительные к воздействию компоненты, хотя более эффективный подход заключается в отслеживании изменений, проис-

ходящих в популяциях устойчивых видов, способных выдерживать различные дозы воздействий в течение длительного времени. Показатели общей структуры БР имеют то преимущество, что их можно использовать в любых ситуациях.

Нарушение структуры, функции или сукцессионной последовательности развития экосистемы обычно выражается в сокращении БР (из этого, однако, не следует, что любое воздействие ведет к утрате разнообразия: известно немало случаев, когда воздействия сопровождаются увеличением числа видов за счет ранних сукцессионных и рудеральных, поэтому необходим дифференцированный анализ компонентов БР, в частности, показательно соотношение климаксных и сукцессионных видов).

Можно указать еще несколько перспективных подходов, которые пока недостаточно разработаны. Так, уже упоминавшийся переход логнормального распределения частот видов, при котором наиболее многочисленны виды со средней встречаемостью, в логарифмическое с преобладанием редких видов свидетельствует о нарушении структуры экосистем. Пуассоновское распределение может служить указанием на отсутствие (распад) системных связей. В том же плане можно использовать корреляции между разнообразием и другими показателями состояния, например, биомассой или продуктивностью.

Как уже упоминалось в предыдущем разделе, естественное развитие экосистем характеризуется ростом БР (S) и удельной биомассы (B) при сокращении удельных продуктивности (P) и мортмассы. Состояние экосистемы на стадии x определяется сопоставлением с исходными значениями этих параметров:

$$S_x/S_1 > 1;\ B_x/S_x - B_1/S_1 > 1;$$
$$P_x/S_x - P_1/S < 1;\ M_x/S_x - M_1/S_1 < 1.$$

Обратные соотношения указывают на переход естественной сукцессии в антропогенную.

Биологическое разнообразие и биотехнология

Разработке международной конвенции о БР (июнь 1992 г.) постоянно сопутствовали споры о биотехнологиях, которых можно было хотя бы частично избежать, если бы с самого начала были разграничены биотехнологии сохранения и производства. К биотехнологиям сохранения относятся все способы стабилизации и восстановления БР в природе (ин-ситу) и искусственных условиях (экс-ситу), включая организацию ООПТ, разведение в неволе, реинтродукцию, генобанки и т. д. Их разработка связана со специальными исследованиями, например, определением воздействия криоконсервации на геном.

Биотехнологии производства обычно ассоциируются с производством инсулина и ростовых гормонов методами генной

инженерии, препаратами из тропических растений и морских беспозвоночных, используемых для лечения полиомиелита, СПИД и других тяжелых заболеваний, «зеленой революцией» — внедрением высокопродуктивных сортов сельскохозяйственных растений. Можно назвать такие развивающиеся области биотехнологии, как марикультура, биологические методы защиты растений, очистка почв и водоемов от нефтепродуктов, использование альгинатов как энтеросорбентов для профилактики лучевой болезни.

Мы используем около 7000 растений — не более 7% всего разнообразия растительного мира. Перспективы развития биотехнологии практически безграничны. В то же время небольшой процент отчислений от прибыли, которую дают современные биотехнологии производства, покрывает все затраты на биотехнологии сохранения (в США прибыль от применения растительных экстрактов в формакологии составляет около 8 млрд, долларов в год, от марикультуры — 5,5 млрд., затраты на восстановление редких видов — 10 млн.*). Это обстоятельство может стать отправным пунктом международных соглашений в области сохранения и использования БР.

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Основной закон жизни заключается в том, что любой организм стремится к продлению своего существования в потомстве, любая популяция — к устойчивому воспроизведению из поколения в поколение. Последнее возможно при поддержании определенной численности, снижение которой ставит популяцию под угрозу исчезновения или обеднения генофонда. Кроме того, в неустойчивых условиях необходим некоторый запас численности. В то же время популяционный рост — средство устойчивого существования, а не самоцель, как полагали ранние эволюционисты. Наряду с примитивным механизмом регуляции популяционного роста ответным сопротивлением среды (в форме истощения ресурсов, увеличения пресса хищников и паразитов) в природе существуют разнообразные средства саморегуляции — гормональные реакции на плотность населения, сокращение размеров кладки в неблагоприятные годы и т. п., ограничивающие рост численности до вхождения в критическую фазу.

В трофической пирамиде около 10% биологической продукции каждого уровня может быть потреблено организмами более высокого уровня. Потребление ресурсов биосферы человеком,

* Национальный доклад Агентства по охране окружающей среды. Вашингтон, 1990.

прямое и косвенное (в виде загрязнения), уже достигло примерно 40% и продолжает увеличиваться. Необходимость регулирования этого процесса в глобальном масштабе представляется очевидной. Две основные составляющие, которые подлежат регулированию — это численность населения и эффективность использования ресурсов.

Извлекая из биосферы разнообразные ресурсы, человек возвращает в нее отходы, осуществляя техногенный круговорот веществ, сопоставимый по масштабу с биогенным, но далеко не всегда совпадающий с ним по направленности потоков вещества и энергии. Техногенный круговорот вносит в природные экосистемы чуждые им компоненты — загрязняет их, тем самым вступая в конфликт с биогенным круговоротом, частично подавляя его. Конфликтность техносферного и биосферного круговоротов служит источником экологической опасности.

Общая причина социально-экологических проблем заключается в разрыве между техническими возможностями человека и крайне примитивной стратегией выживания, в которой рост превалирует над устойчивостью, а количество населения над его качеством. В течение всей истории эта стратегия приводила к истощению ресурсов, обострению конкуренции и конфликтности на индивидуальном и групповом уровнях, которая, в свою очередь, стимулировала рост численности и эксплуатацию ресурсов как средство достижения перевеса над противником. Сейчас человечество, по-видимому, переживает переломный момент своего развития на пути к разумной жизни, и в ближайшее время можно ожидать радикального изменения стратегических установок.

Рост населения

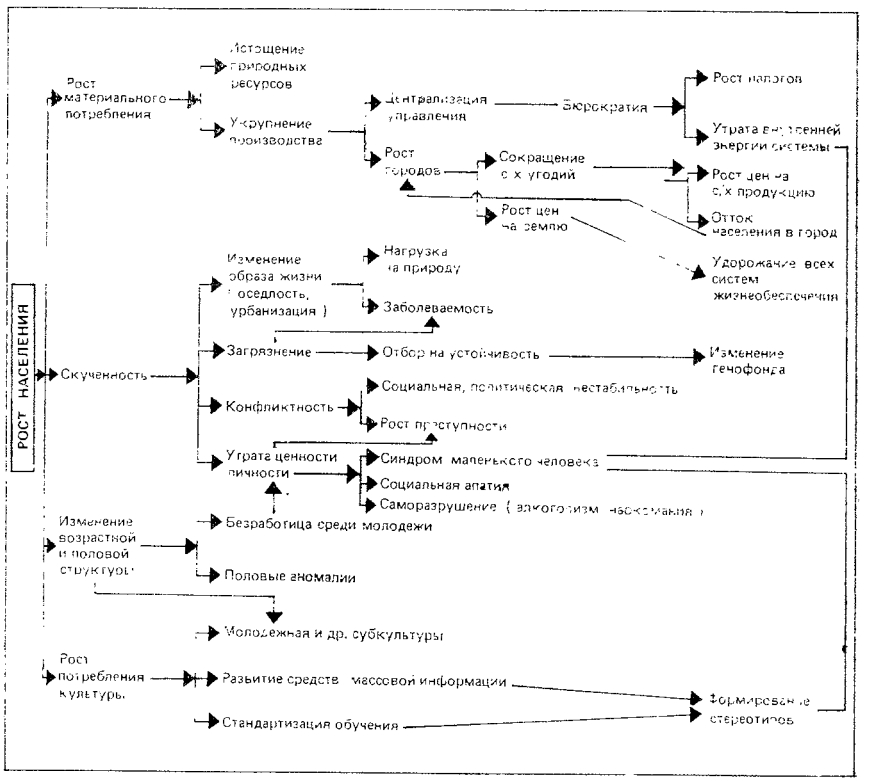
Т. Р. Мальтус, говоря об опасности роста населения, ориентировался на ситуацию, возникшую в Англии в начале 19 в., когда развитие крупного промышленного производства породило армию лишних людей. Страна была наводнена нищими, и власти стояли перед дилеммой помочь им или поскорее отправить на кладбище. Мальтус, хотя и не без сожаления, склонялся к последнему как более реалистическому решению проблемы.

История долгое время опровергала Мальтуса, и все же нельзя не признать, что страны, стабилизировавшие свое население на приемлемом уровне, находятся в выигрышном положении по сравнению с теми, где продолжается экспоненциальный рост. В течение последних двух десятилетий рост населения в целом составлял около 2,4% в год с пиком в 1970 г. При этом в большинстве развитых стран он не превышал 0,5—1%, а в разви-

вающихся достигал 4%. Максимальные цифры приходятся сейчас на Индийский субконтинент, западную Азию и некоторые африканские страны, где рост населения создает наиболее острые проблемы. Тем не менее и в более благополучных индустриально развитых странах угроза избыточного населения становится все более реальной. Так, США при населении более 250 млн. и росте около 1% в год может выйти на 400 млн. к 2050 г.—цифра, которая многими рассматривается как катастрофическая. Достижение оптимальной для этой страны численности 125—150 млн. предполагает негативный рост, для которого необходимо принятие социальной нормы не более двух детей в семье.

После 1970 г. население планеты выросло на 1,6 миллиона. При сохранении современных темпов роста за 90-е годы прибавится еще около 1 миллиарда людей. Демографы не ожидают

Последствия роста населения (схема типа «модели эффектов»: Coughlan A. K., Armour C. L. Fish and Wildlife Serv. Publ. 1992, 185).



стабилизации численности ранее 30-х годов 21 в., когда она достигнет 10—12 миллиардов*. При этом следует ожидать трехкратного обострения всех негативных процессов, определившихся уже сегодня. Процессы, практически неизбежно сопровождающие рост населения, охватывают все сферы жизи. Выделим основные факторы и их следствия.

Рост потребления. Поскольку рост населения обычно сопровождается падением уровня жизни, он не пропорционален росту потребления. Однако потребление возрастает в абсолютных величинах в тех областях, которые мало связаны с уровнем жизни (например, потребление зерна). Соответственно возрастает нагрузка на природные ресурсы.

Рост городов. Поскольку сельскохозяйственное производство не предоставляет дополнительных рабочих мест, избыточное население сосредоточивается в городах. Рост городов за счет сельскохозяйственных угодий и размещение в их пределах городских отходов ускоряет этот процесс по принципу положительной обратной связи (типична в этом отношении Кения — страна с 4,1-процентным приростом населения в год. Поскольку увеличение площади сельскохозяйственных угодий уже практически невозможно, избыток населения устремляется в города, стремительно обрастающие многомиллионными трущобными зонами, которые не только загрязняют среду, но и постепенно надвигаются на пахотные земли и национальные парки).

Загрязнение среды. Общее загрязнение среды возрастает вследствие увеличения объема бытовых отходов, роста городов как наиболее мощных источников загрязнения, интенсификации сельскохозяйственного производства. Загрязнение вызывает рост заболеваемости и включает механизм отбора на устойчивость, ведущего к изменению генофонда. Борьба с загрязнением многократно увеличивает непроизводительные расходы.

Изменение образа жизни. Рост численности вызывает коренные изменения образа жизни народов, традиционный уклад которых исторически формировался в условиях низкой численности, например, малочисленных народов тропической и умеренной лесных зон или кочевых народов севера и семиаридной зоны. Леса не могут выдержать роста численности (причина «великого переселения народов» в 4—8 вв.), а для кочевий не остается места (как показал опыт искусственного укрупнения поселений чукчей и азиатских эскимосов в годы советской власти, как и рост постоянных поселений возле артезианских скважин в пустыне, подобные процессы ведут к быстрой дегра-

* Ehrlich P. R., Holdren J. P. The Cassandra Conference, UP, 1988.

дации природной среды). Повсеместное врастание сельского населения в городскую жизнь также создает сложные экологические и социальные проблемы.

Падение уровня жизни. Основные факторы падения уровня жизни с ростом численности — многодетность и связанный с нею дефицит семейного бюджета, рост цен на землю, особенно в городах, соответствующее удорожание жилищного строительства, ресурсов, всех систем жизнеобеспечения, рост непроизводительных расходов.

Централизация. С ростом населения и укрупнением производства усиливается тенденция к централизации энергоснабжения, производственных мощностей и управленческих структур. Рост конфликтности, бытовой и политической агрессивности в связи с падением уровня жизни, скученностью и изменением структуры населения также усиливает необходимость в сильной власти. Укрепление государственной власти, разрастание бюрократического аппарата в порядке положительной обратной связи форсирует непроизводительные расходы и падение уровня жизни. Социально-психологические следствия централизации — обезличение власти, условность народного представительства во властных органах, вырождение демократии в охлократию или авторитарный режим, политический карьеризм и синдром «маленького человека», слишком беспомощного перед лицом всесильного государства для того, чтобы ощутить себя творческой личностью с автономной системой моральных ценностей. Эти процессы удовлетворительно объясняют истощение творческой энергии нации и упадок великих цивилизаций во все времена.

Изменение структуры населения. Наряду со сдвигом в пользу городского населения с ростом численности происходит:

— изменение соотношения возрастных групп: омоложение населения, сопровождаемое ростом безработицы среди молодежи, ростом преступности и общей социальной нестабильности;

— изменение соотношения полов в младших возрастных группах: первично — в силу статистического превышения рождаемости мальчиков, вторично — в порядке позитивной обратной связи как следствие диспропорции полов*;

— изменение соотношения полов в старших возрастных группах: снижение продолжительности жизни мужчин по сравнению с женщинами, которые более устойчивы к экологическим и социальным стрессам; больше одиноких женщин среднего и

* Геодекян В. А. Зеленый крест, 1992, 1:30.

пожилого возраста — социальный фактор, значение которого не следует недооценивать.

Скученность. С ростом населения скученность преследует человека с малых лет — в многодетной семье, в переполненных детских учреждениях — до самой смерти в многоместной больничной палате или богодельне, за которой следует переполненный морг, очередь в крематорий или борьба за место на кладбище. Скученность форсирует загрязнение среды. Как и у животных, скученность вызывает гормональные нарушения, увеличивает конфликтность и агрессивность в семье, на производстве, на транспортных магистралях (прямая связь между числом дорожных пробок, повышением кровяного давления, нервными и гормональными нарушениями у водителей). Социально-психологические эффекты скученности — отчуждение, утрата социальной значимости личности, ценности жизни и, как разнонаправленные следствия, социальное безразличие и карьеризм (стремление обрести значимость любой ценой), саморазрушение (алкоголизм, наркомания, половые извращения, исключающие из репродуктивного процесса) и преступность.

Массовая культура. Исторически сложилось и сохранилось в течение столетий деление на элитарную культуру, предназначенную для состоятельного и образованного потребителя, и низовую культуру простонародья, от соприкосновения которых чаще всего и рождались новые культурные ценности (римский роман-приключение 1 в. или вагантская поэзия 12 в. как наиболее известные примеры). Рост населения сопровождался ростом потребления во всех или многих сферах, включая культуру. Рост потребления культуры в свою очередь стимулировал развитие средств массовой информации и культурной индустрии, ориентированной на массовое производство и соответственно рассчитанное на массового потребителя, художественный вкус которого она сама и формирует. Порожденная скученностью, массовая культура лучше усваивается в условиях скученности. Диспропорционально растущие группировки — молодежь, гомосексуалисты, уголовники и т. д. — теперь достаточно многочисленны для устойчивого поддержания своих субкультур. Одну из таких быстро наращивающих численность группировок составляют ученые. Их питаемая грантами и рассчитанная на них продукция, сочетая техническое совершенство с примитивным содержанием, все больше превращается в разновидность поп-арта.

Ресурсный кризис

Темпы роста мирового валового продукта до сих пор, вопреки Мальтусу, не отставали от населения, составляя в течение

последнего десятилетия около 2,5% в год (около 20 триллионов долларов в 1990 г. по сравнению с 15,5 триллионов в 1980 г.*). Однако уровень доходов сотен миллионов людей остается ниже прожиточного минимума и уже в ближайшем будущем можно ожидать сокращения прироста валового продукта в связи с возникающими (и тесно взаимосвязанными) экологическими и экономическими проблемами.

Земельные ресурсы

В 1971—1986 гг. площадь земель под зерновыми увеличивалась на 0,51% в год. За тот же период около 60 млн. га пашни было занято растущими городами. Прирост за счет малоплодородных земель практически бесперспективен. Сведение тропических лесов позволяет фермерам использовать освободившиеся земли в течение двух-трех лет, после чего их забрасывают из-за истощения почвы. Примерно в такие же сроки утрачивается продуктивность легко эродируемых земель, поэтому в США и других развитых странах их возвращают природе. В СССР расширение пашни за счет легко эродируемых земель завершилось утратой 10% сельскохозяйственных угодий после 1978 г. В мировом масштабе за последние два десятилетия потери составляют около 6 млн. га в год**.

В то же время возможности интенсивного развития также, по-видимому, приближаются к своему пределу. Об этом свидетельствует общая тенденция к сокращению использования удобрений и пестицидов, наметившаяся в конце 70-х. Причина заключается не только в многократно возросшем загрязнении всех компонентов среды, утрате плодородия почв и ущербе здоровью людей. Эти последствия химизации сельского хозяйства частично преодолимы с помощью новых технологий. Однако новые технологии эффективны при комплексном внедрении высокопродуктивных сортов (пород) и специально предназначенных для них удобрений, пестицидов, агротехнических приемов (кормов, гормональных препаратов). Они удорожают сельскохозяйственное производство, обеспечивая монополию крупных производителей, вытесняющих традиционные фермы. «Зеленая революция» привела к разорению 20% семейных ферм***, что означает отток сельского населения в города со всеми негативными последствиями (см. выше), утрату индивидуального разнообразия навыков и приемов ведения хозяйства и соответственно способности адаптироваться к изменениям природных и социальных условий. Кроме того, целые регионы,

* State of the world. A Worldwatch Inst. Rept., New York, London. 1991.
** Agricultural Resources, Washington, D. C., 1990.
*** Lesser W. Nature, 1990, 347:11—12.

в которых новые технологии по тем или иным причинам не находят применения, оказываются неконкурентоспособными.

В целом рост производства зерна на душу населения за два последних десятилетия не превышал 1% в год, т. е. примерно вдвое отставал от роста населения, создавая угрозу голодного будущего. Новые тенденции в развитии сельскохозяйственного производства заключаются в разработке «альтернативных технологий»—биологических методов повышения продуктивности почвы и борьбы с вредителями с учетом естественной цикличности природных процессов и традиционным севооборотом, а также «точных технологий»—информационных систем, обеспечивающих мониторинг и регуляцию всех параметров агросистемы. Сочетание «альтернативных» и «точных» технологий даст возможность уменьшить экологический ущерб без существенного сокращения производства. Однако для их внедрения необходимы дополнительные исследования и преодоление препятствий как экономического, так и психологического характера.

Энергетические ресурсы

Дестабилизация мировой экономики в результате скачкообразного повышения цен на нефть — трижды за последние 20 лет— предвещает энергетический кризис, который неизбежно наступит в первой половине следующего века, если структура энергетики не будет коренным образом перестроена.

В прошлом человек использовал, главным образом, возобновимые энергетические ресурсы биомассы, воды и ветра., Лишь в 19 в. уголь стал играть ведущую роль в энергетике стран, ставших на путь промышленного развития, и лишь во второй половине 20 в. на эту роль выдвинулась нефть. Так совершился переход на невозобновимые ресурсы, дающие сейчас около 75% всей потребляемой энергии*.

Подобный путь, противоречащий логике эволюционных процессов, не мог не оказаться тупиковым. То обстоятельство, что более половины мировых запасов нефти сосредоточено в политически самом нестабильном регионе мира, лишь усугубляет кризисную ситуацию.

В США при сохранении уровня добычи 1989 г. разведанных запасов нефти хватит еще на 16 лет (запасов газа — на 60 лет)**. Однако с учетом ежегодного роста потребления нефти на 7% они будут исчерпаны через 11 лет (если половина потребления будет перекрыта за счет импорта, то через 16 лет). Примерно так же обстоит дело с европейскими и российскими

* Flavin C., Lenssen N. State of the World. New York-London, 1991.
** Национальный доклад Агентства по охране окружающей среды, 1990 г.

запасами с тем отличием, что в последнем случае сроки зависят как от местного потребления, так и от экспорта. Ближневосточные запасы могут покрыть дефицит нефти в этих странах вплоть до 2030 г.

Месторождения нефти и газа приурочены, главным образом, к окраинным морям современных или существовавших в прошлом океанов*. Большая часть разведанных запасов связана с окраинными морями мезозойского океана Тетис (месторождения Персидского залива, Прикаспийского региона, Мексиканского залива), открытия последних десятилетий — с периарктическим поясом, к которому относятся Западно-Сибирский бассейн, Северное море, бассейн северного склона Аляски и др. Здесь можно ожидать прироста запасов за счет дальнейших открытий примерно в 2,5 раза в ближайшие 10—15 лет. За тот же период население увеличится на 1 миллиард, общее потребление энергии — на 20—25%. Таким образом, прирост запасов нефти не сможет компенсировать роста потребления.

Компенсационное увеличение потребления угля приведет к дополнительному загрязнению среды высокотоксичными поллютантами, тогда как запасы природного газа недостаточны для замещения нефти в течение длительного времени и рассматриваются как «переходное» топливо. Атомная энергетика едва ли представляет жизнеспособную альтернативу из-за высокого риска для жизни и здоровья людей, связанного с неизбежными катастрофами и растущими радиоактивными отходами, к которым относятся и отработавшие свой срок АЭС. Чтобы АЭС сравнялись по вкладу с горючими ископаемыми, их число должно быть увеличено в четыре раза, что недопустимо с позиций риска (см. следующий раздел). Понимание этого обстоятельства заставило большинство стран отказаться от строительства новых АЭС. Действующие реакторы большей частью выйдут из строя в течение ближайших 30 лет и едва ли будут заменены новыми.

Структура энергетики

	Существующая (1989 г.) (%)	Оптимальная (2030 г.) (%)
Нефть	33	14
Уголь	24	8
Газ	18	18
Возобновимые источники	20	60
Ядерная	5	0

* Красилов В. А. В кн.: Меловой период.— М.: Наука, 1986.

Таким образом, реальную альтернативу горючим ископаемым составляют лишь возобновимые энергетические ресурсы тепла недр, солнечной радиации, ветра, морских приливов, рек, горячих источников и биомассы. Технологии использования солнечной энергии быстро развиваются*. Фотоэлектрогенераторы уже находят широкое применение, а стоимость производимого ими киловатт-часа энергии сократилась в 50 раз по сравнению с 1973 г. Ожидается дальнейшее сокращение того же порядка к середине 90-х благодаря применению более эффективных полупроводников и других технологических новшеств. Термоэлектрические генераторы производят более дешевую энергию, но возможности их применения относительно ограничены. Тем не менее использование гелиоконцентраторов открывает перспективу получения большого количества энергии в аридных районах и ее экспорта в страны с умеренным климатом**. В Дании и других странах европейского севера ветряные двигатели дают не менее 12% электроэнергии (как все АЭС бывшего СССР). В гидроэнергетике получают распространение бесплотинные ГЭС, не наносящие ущерба земельным и водным ресурсам.

Возможности использования тепла земных недр еще практически не раскрыты, хотя Калифорния, например, получает 7% энергии от гидротермальных источников. Ресурсы разогретых эндогенным теплом горных пород в двадцать раз превышают запасы горючих ископаемых. Технологии их использования еще не продвинулись дальше концептуальной стадии.

Несмотря на очевидные преимущества возобновимых энергетических ресурсов, перспективы их освоения до последнего времени оценивались не слишком высоко. Конкурентоспособность нефтяной и ядерной энергетики поддерживалась их тесной связью с военно-промышленным комплексом.

Изменение политической ситуации открыло возможность ускоренного развития децентрализованных автономных энергетических систем, использующих «нетрадиционные» энергоносители. С их распространением произойдут коренные изменения в экономике и образе жизни городского и сельского населения. Пока же инерция нефтяной экономики еще очень сильна. Реальная перестройка, вероятно, начнется с того момента, когда встречные процессы повышения цен на нефть и совершенствования технологий «нетрадиционной» энергетики уровняют стоимость киловатт-часа электроэнергии из того и другого источника.

* Back to the Future: U. S. Government policy toward environmentally critical technology. World Resources Institute, 1992:9—11.
** Zweibel K. Harnessing solar power. New York, Plenum, 1990.

Изменение генофонда

Изменение среды обитания, происходящее в результате деятельности человека, оказывает на человеческие популяции обратное воздействие, которое по большей части оказывается неблагоприятным. Основную опасность обычно усматривают в сокращении продолжительности жизни и росте заболеваемости. Однако в развитых странах средняя продолжительность жизни неуклонно — примерно на 2,5 года за десятилетие — приближается к своему биологическому пределу (95 лет), вблизи которого конкретная причина смерти не имеет принципиального значения. Воздействия, не ведущие к преждевременной смерти, тем не менее снижают качество жизни. Однако более глубокая проблема заключается в изменении генофонда, которое приобретает глобальные масштабы.

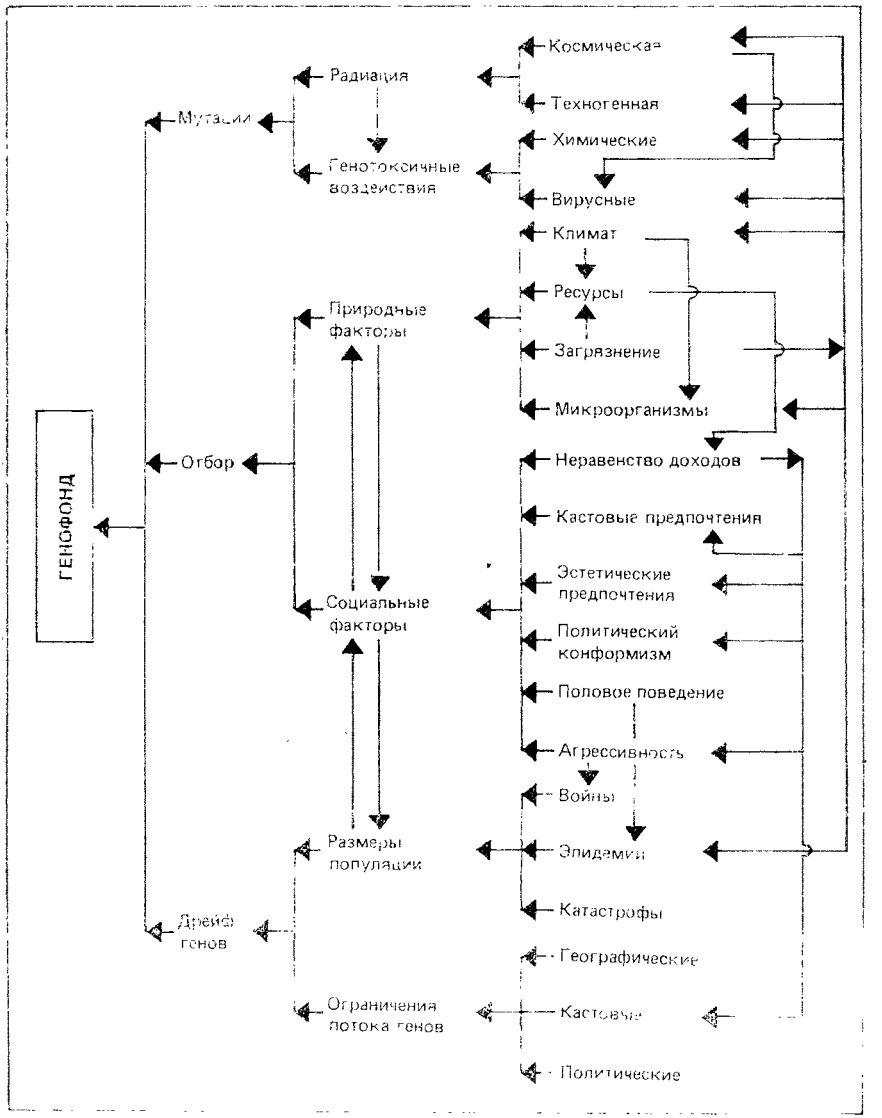
О воздействии на генофонд чаще всего говорят в связи с радиационным загрязнением, хотя это далеко не единственный фактор. Вообще в этой области существует большой разрыв между обиходными и научными представлениями, которые желательно было бы по возможности сблизить. Например, нередко говорят об утрате генофонда, хотя совершенно ясно, что генофонд человеческого вида может быть утрачен лишь вследствие вариантов гена теоретически возможна, но практически, в поголовного уничтожения людей. Утрата генов или их вармантов обозримых масштабах времени, вероятна лишь в отношении очень редких вариантов. Во всяком случае не менее вероятно появление новых вариантов гена, изменение генных частот и соответственно частот гетерозиготных и гомозиготных генотипов. Все эти события укладываются в представление об изменении генофонда.

Не все оценивают изменение генофонда как негативное явление. Некоторые сторонники евгенических мероприятий считают необходимым избавиться от нежелательных генов путем физического уничтожения или исключения их носителей из процесса размножения. Однако действие гена зависит от его окружения, взаимодействия с другими генами. На уровне личности дефекты нередко компенсируются развитием особых способностей (Гомер был слепым, Тулуз-Лотрек—карликом, Байрон и Пастернак хромали). Методы генной терапии открывают возможность исправления врожденных дефектов без вмешательства в генофонд.

Стремление большинства людей сохранить генофонд таким, каким его создала природа, имеет под собой вполне резонные основания. Исторически генофонд сложился в результате длительной эволюции и обеспечил приспособление человеческих популяций к широкому спектру природных условий. Генетиче-

ское разнообразие людей на популяционном и индивидуальном уровнях частью носит очевидный адаптивный характер (например, темный цвет кожи в низких широтах, связанный с устойчивостью к ультрафиолетовому излучению), частью нейтрально

Изменение генофонда Схема типа «каузальной модели» анализа проблем.



по отношению к факторам среды. Независимо от этого генетическое разнообразие предопределило разнообразие компонентов и динамичность развития человеческой культуры. Высшее достижение этой культуры — гуманистический принцип равноценности всех людей — в переводе на биологический язык означает сохранение генофонда, не подлежащего искусственному отбору.

Вместе с тем сохраняют значение естественные факторы изменения генофонда — мутации, дрейф генов и естественный отбор. Загрязнение среды вносит вклад в каждый из них. Хотя эти факторы действуют совместно, в аналитических целях имеет смысл рассмотреть их по отдельности.

Факторы мутагенеза. Из физических воздействий к ним, кроме ионизирующего излучения, возможно, относятся электромагнитные поля, поскольку установлено повышение заболеваемости лейкемией у проживающих длительное время вблизи высоковольтных линий электропередач. Из сотен тысяч разнообразных химических соединений, поступающих в среду в виде бытовых и производственных загрязнений, около 20% генотоксичны. Их действие проявляется в соматических, реже геноплазматических (наследуемых) хромосомных перестройках или мутациях отдельных генетических локусов.

Мутационный груз снижает жизнеспособность в 1—2-кратном соотношении со скоростью гаметного мутагенеза*. Наряду с прямым канцерогенным эффектом — мутациями, нарушающими взаимодействие клеточных клонов в процессе их роста и трансформации — происходит нарушение контрольных функций гормональной и иммунной систем, на фоне которого возрастает риск злокачественных новообразований как хемотоксичной, так и вирусной этиологии. Мутагенез, сопровождающий встраивание вирусной частицы в клеточный геном, также может возрастать вследствие иммунной недостаточности организма, появления новых штаммов вирусов или того и другого.

Дрейф генов. В прошлом дрейф генов был связан с резкими колебаниями численности локальных популяций, истребляемых войнами и эпидемиями. Выжившие основатели новой популяции передавали ей черты своей генетической индивидуальности. Утраченная часть генетического разнообразия восстанавливалась за счет повторных мутаций и потока генов, но определенные отличия могли сохраняться длительное время. Сейчас рост численности и более подвижный образ жизни предохраняют генофонд от дрейфа генов, разве что за исключением малочисленных популяций на океанических островах, в горных районах или тропических лесах. Тем не менее дрейф генов воздействует на в адаптивном смысле «нейтральную» часть поли-

* Lynch M., Gabriel M. Evolution, 1990, 44:1725—1737.

морфизма человеческих популяций как фактор, сопутствующий естественному отбору по признакам, которые имеют приспособительное значение в условиях интенсивного загрязнения среды.

Естественный отбор. Внимание общественности и экспертов в первую очередь привлекают генотоксичные факторы прямого действия и связанные с ними заболевания, тогда как естественный отбор — в долгосрочном плане гораздо более мощный фактор изменения генофонда — остается в тени. Между тем любое воздействие на среду хотя бы в небольшой степени изменяет направленность отбора, создавая давление на популяцию и сдвигая частоты соответствующих генотипов. Ген может долого удерживаться в популяции несмотря на негативный отбор (который недостаточно эффективен при низких частотах), но угроза обеднения генофонда со временем становится все более реальной.

Охрана среды обитания и здравоохранение — это, по существу, противостояние естественному отбору в человеческих популяциях. Тем не менее отбор действует, в особенности на пренатальном уровне (например, в виде ранних самопроизвольных абортов, которые могут остаться незамеченными). Любое заболевание снижает шансы на успешную карьеру, создание семьи и полноценный генетический вклад в следующее поколение. Поскольку люди неравноценны в отношении устойчивости к воздействиям специфического и общего характера, то отбор работает в пользу более устойчивых, невзирая на их личностные качества, и тем более активно, чем больше загрязнение среды. Эти процессы не только сокращают разнообразие людей (три тысячи лет назад светлокудрые ахейцы сражались с темноволосыми малоазийскими племенами; теперь настоящие блондины редки даже среди скандинавов, не говоря уже о греках), но и вымывают из популяции редкие гены, способствующие развитию социально ценных свойств, если они не сцеплены с генетическими факторами устойчивости к загрязнениям. Действуя исподволь, естественный отбор тем не менее в общечеловеческом плане дает более ощутимые результаты, чем прямые воздействия. Люди прошлых поколений, несомненно, отличались от нас, хотя эти отличия не всегда удается точно определить.

Техногенное изменение среды началось, разумеется, не в наши дни и даже не с наступлением индустриальной эры, а гораздо раньше, с первого костра, разожженного нашими предками 2 млн. лет назад. Сжигание биомассы в течение тысячелетий было основным фактором загрязнения атмосферы, особенно в древних городах, жители которых быстро деградировали физически (по свидетельству Гомера, герои Троянской войны легко метали камни, которых не подняли бы и четыре современных ему мужа; атлетизм, раньше всеобщее достояние, стал почи-

таться как особый дар богов). Загрязнение тяжелыми металлами было причиной интоксикации и сокращения продолжительности жизни еще в древнем Риме. Современное загрязнение отличается главным образом масштабами и появлением в быстрой последовательности все новых поллютантов, к которым человеческий организм не успевает приспособиться. В плане естественного отбора современная ситуация может быть охарактеризована следующим образом.

Возрастание общей агрессивности среды

Загрязнение воздуха кислотообразующими выбросами вызывает распираторные заболевания, астматические явления, разрушает легочную ткань. Кислотообразующие выпадения увеличивают агрессивность поверхностных вод (по данным морской лаборатории в Вудс-Холе, в средних широтах северного полушария выпадает до 18 млн. тонн азота в год), в которых увеличивается содержание фтора и металлов, в том числе стронция. В выбросах, стоках и твердых отходах промышленных городов содержатся тысячи тонн свинца, цинка, меди, хрома, никеля, кадмия, молибдена, ванадия и других металлов. Вокруг городов возникают особые геохимические провинции. Значительная часть загрязнений концентрируется — практически необратимо — в почве и попадает в грунтовые воды. Установлены корреляции между содержанием металлов в воздухе и почве: предельно допустимым концентрациям (ПДК) свинца, меди и ртути в воздухе 0,3 мкг/м^3, 2,0 мкг/м^3 и 0,3 мкг/м^3 соответствуют концентрации в почве 4000 мг/кг, 150 мг/кг и 0,4 мг/кг*. Последние, по-видимому, превышают предельно допустимый уровень, по крайней мере, для свинца, который представляет особую опасность, вызывая задержку физического и умственного развития детей (содержание свинца в материнском молоке коррелируется с длительностью проживания возле транспортных магистралей**; кроме того, дети получают и аккумулируют больше свинца, чем взрослые из-за большей интенсивности дыхания и попадания частиц загрязненной почвы на руках и игрушках в кишечник***).

В крупных городах заболеваемость поллютогенной природы составляет от 25 до 50%**** (нередко приводят более высокие цифры, до 85%, но в число «экологических» при этом попадают такие факторы, как курение, подвижность и особенности поло-

* Экологический вестник России. М., 1991, 14.
** Sci. Total Environ., 1988, 71:65—66; Lippman M. Env. Res., 1990, 50:1—24.
*** Sci. Total Environ., 1988, 68:61—69.
**** Буренков Э. К. Сов. геол., 1986, 4:24.

вого поведения, сейчас привлекающие особое внимание в связи с распространением СПИД), причем рост умственнных расстройств среди детей в 80-е годы в Москве, Ленинграде, Кемерово и других индустриальных центрах составлял до 3—4% в год.

К факторам агрессивности среды относится также увеличение патогенности микроорганизмов в связи с мутагенезом и отбором в условиях интенсивного загрязнения.

Следует отметить, что выделение отдельных факторов, вызывающих те или иные заболевания, в большинстве случаев затруднительно из-за синергических и аддитивных эффектов. К тому же сходные заболевания нередко возникают по разным причинам (например, легочные в связи с воздействием озона и других кислотообразующих загрязнений, родона в помещениях, курения, пестицидов и др.).

Общая агрессивность среды возрастает при наложении техногенных и естественных факторов, таких как солнечная активность, форсирующая вторичное загрязнение воздуха в результате фотохимических реакций с участием разнообразных первичных поллютантов, а также независящие от человека изменения температуры и влажности. Контролируя скорость ветра, физическое и химическое выветривание, объем поверхностного стока, уровень грунтовых вод и запыленность атмосферы, климатические изменения существенно влияют на аккумуляцию загрязнений в различных средах, изменяя их агрессивность при постоянном уровне техногенных воздействий.

Новые виды воздействий

Факторы воздействия (отбора), появившиеся сравнительно недавно, заслуживают особого рассмотрения. Человек еще не приспособился к ним, что позволяет априори предположить их повышенную агрессивность. К ним относится группа транспортных воздействий, включая окись углерода, двуокись азота, свинец, шумовое загрязнение и дорожные пробки. По данным Института мировых ресурсов*, экономический ущерб от транспортных выбросов в США (непосредственный ущерб здоровью, хронические заболевания, снижение урожайности и ущерб лесам от озона) составляет от 10 до 200 млрд. долларов в год. В то же время снижение выбросов до предельно допустимых для озона как вторичного поллютанта оценивается в 0,5—4 млрд. долларов в год. С середины 80-х годов в европейских странах введены жесткие ограничения на свинцовые добавки, которые позволили снизить содержание свинца в атмосферном

* Mackenzie J. J. et al. The going rate; what it really costs to drive. WRI, 1992.

воздухе на 52—61%. Однако снижение кислотообразующих выбросов на транспортную единицу уравновешивается увеличением числа автомобилей. К тому же повышение экологических требований в таких странах, как США и Япония, привело к диспропорциональному увеличению числа грузовиков, создавших дополнительные проблемы с шумовым загрязнением и транспортными пробками. Ущерб от шума в городах США оценивается в 9 млрд. долларов в год (на 85% за счет грузовиков). Проблема скучивания транспорта приобретает все большую остроту в связи с тем, что в большинстве стран (и, пожалуй, больше всего в Японии) число автомобилей превышает пропускную способность дорог. Ущерб от скучивания здоровью и психическому состоянию водителей (повышение кровяного давления, нервное перенапряжение, склонность к агрессивному вождению — увеличение числа несчастных случаев) плюс изнашивание двигателей и тормозных устройств составляет до 100 млрд. долларов в год.

В прошлом сельское население меньше страдало от загрязнений, чем городское, но применение пестицидов изменило эти соотношения. Наибольший ущерб нанесен сельскому населению бывшего СССР в районах хлопководства и рисосеяния. Со скидкой на недостоверность официальной статистики, рост онкологических заболеваний в Краснодарском крае и близким по структуре сельскохозяйственного производства регионах оценивается в 20—40% за пятилетие (1983—1988 гг.).

Пестицидное загрязнение, естественно, не ограничивается районами их массированного применения, а широко распространяется по природным и коммерческим каналам. Запреты на токсичные пестициды в одной стране еще не гарантируют ее население от пестицидного отравления, так как проблема носит глобальный характер. В Японии, например, обнаружены пестициды, сдуваемые с континента.

Пестициды поражают нервную и гормональную системы насекомых и позвоночных, включая человека. В последние годы, наряду с нормированием внесения пестицидов, производится замена наиболее токсичных органохлоринов органофосфатами, к которым относится большинство инсектицидов, а также ряд гербицидов и фунгицидов. Тем не менее проблема пестицидного отравления остается. Воздействие органофосфатов на человека основано главным образом на связывании фермента холестеразы, контролирующей прохождение нервных импульсов к мышцам наружных и внутренних органов, тем самым сохраняя их возбужденное состояние. Последствия — мышечные спазмы, дрожание конечностей, спонтанные аборты, импотенция, депрессивные состояния, нарушения сердечно-сосудистой и пищевари-

тельной систем, респираторные заболевания, напоминающие простудные — этиологически нередко остаются неопознанными.

К загрязнениям с множественными эффектами относится также фтор, при многолетнем воздействии поражающий нервную систему и костную ткань. Фтор обнаруживает дозовый генотоксичный эффект, накапливаясь в рисовом зерне и других продуктах питания. Обнаружена корреляция между концентрацией фтора в рисе и раком желудка в сельскохозяйственных регионах*.

Особая проблема возникает в связи с просачиванием пестицидов в грунтовые воды. В ряде стран грунтовые воды загрязнены токсичными веществами, которые проникли туда 30—40 лет назад. В США практикуется перекачка и очистка грунтовых вод, однако эти мероприятия при всей их дороговизне малоэффективны, а при сохранении источников загрязнения вообще бесполезны, так как в очищенных водах быстро возрастает концентрация хлорорганики. Полная очистка водоносного горизонта этим методом займет 100—200 лет, а число загрязненных аквиферов исчисляется десятками тысяч.

Хотя ионизирующее излучение использовалось для получения искусственных мутаций еще в 20-е годы, проблема радиационного загрязнения выдвинулась в число наиболее острых лишь в послевоенное время. Наряду с атомной бомбардировкой 1945 г. испытания ядерного оружия с полным основанием относятся к тягчайшим преступлениям против природы и человечества. Только на Семипалатинском полигоне в 1949—1962 гг. произведено около 200 взрывов в атмосфере, за которыми в 1963—1989 гг. последовало вдвое большее число подземных, часть из которых сопровождалась выбросами радионуклидов. Жители восточного Казахстана, вероятно получили наибольшую дозу ионизирующего излучения после Хиросимы-Нагасаки и Чернобыля. Данные о заболеваемости, связанной с радиационными воздействиями, не подлежали обнародованию вплоть до 1989 г. По неофициальным источникам, число погибших от лейкемии составляет десятки тысяч. Распространение хромосомных аномалий, врожденных физических и невролгических дефектов среди детей будет выше фонового еще в течение ряда лет.

После прекращения массовых взрывов в атмосфере главным источником радиационного загрязнения стали аварии на атомных электростанциях и хранилищах радиоактивных отходов. После катастроф на Урале и в Чернобыле, имевших глобальные последствия (загрязнение радионуклидами цезия с активностью более 1 Ки/кв. км на площади более 100 тыс. кв. км и

* Smith G. E. Sci. Total Envir., 1988, 68:79—96.

населением около 4 млн. человек, радиоактивные выпадения повсеместно в северном полушарии), в СССР были разработаны требования к проектированию АЭС, аналогичные существующим в других странах и учитывающие гидрологические условия, сейсмический риск и другие факторы. Однако, несмотря на плачевный опыт, все еще предпринимаются, и не без успеха (Калининская АЭС) попытки обойти экологическую экспертизу и с помощью угроз и посулов преодолеть общественный протест.

Ужесточение контроля не помогло избежать последующих аварий, которые, впрочем, нередки и в технологически более развитых странах. Отметим в этой связи недавнюю аварию на АЭС «Михема» в Японии, сопровождавшуюся радиоактивными выбросами. Эта сравнительно небольшая авария, связанная с повреждением клапана в системе охлаждения одного из реакторов, тем не менее поколебала убеждение в абсолютной безопасности японских ядерных технологий и принципиальной возможности безаварийной работы АЭС.

Снова ссылаясь на опыт Японии как технологически наиболее прогрессивной из развитых стран, напомню скандал, разыгравшийся в 1990 г. в связи с организацией предприятия по хранению и переработке радиоактивных отходов на Хонсю, сопровождавшийся подкупом и запугиванием местного населения*. В США осуществление утвержденной конгрессом программы по ликвидации опасных захоронений радиоактивных отходов (общим числом 31 тыс., из них 1224 особо опасных, попавших в список национальных приоритетов) сталкивается с большими финансовыми и организационными трудностями. В то же время лицензии на проектирование новых подземных хранилищ выдаются с условием обеспечения безопасного хранения в течение 10 тыс. лет — требование, которое многие эксперты считают нереалистическим.

Чернобыльский опыт показал, что тенденция к преуменьшению последствий аварий на АЭС проявляется как на местном, так и на международном уровнях. Так, Международное агентство по атомной энергии в 1990—1991 гг. провело обследование, не выявившее каких-либо клинических последствий аварии 1986 г., обратив внимание лишь на психологические эффекты. При этом не были обследованы «ликвидаторы» и эвакуированное население 30-километровой зоны наибольшего риска. Известно также, что последствия в форме лейкемии и тироидных нарушений проявляются не менее чем через 5 лет, а в большинстве случаев через 10—20 лет после облучения. По экспертным оценкам, дополнительная смертность от лейкемии в результате чернобыльской аварии составит около 10 тыс. человек.

* Nature, 1990, 345:285.

Проблема малых доз ионизирующего излучения в последнее время приобрела особую остроту в связи с пятикратным повышением заболеваемости лейкемией в возрастной группе до 25 лет вокруг АЭС «Селлафилд» и «Даунрей» на Британских о-вах. Отмечается более высокий уровень заболеваемости среди детей персонала АЭС — так называемый эффект Гарднера*. В районе АЭС «Пилгрим», штат Массачузетс, США, заболеваемость лейкемией в 1979—1983 гг. в четыре раза превышала среднюю (составляющую 2—3 случая на 100 тыс. жителей). В течение всего этого периода выбросы АЭС находились в пределах нормы 500 (после 1980 г.—25) миллирем в год. Детальные исследования выявили корреляцию риска с расстоянием от АЭС и длительностью проживания в ее окрестностях**. В то же время французы, по вполне понятным причинам (Франция получает 75% электроэнергии от АЭС) обеспокоенные результатами британских и американских ученых, провели широкое обследование по той же методике, не показавшее роста лейкемии — фактически оказавшейся ниже фонового уровня в районах расположения АЭС***. Эти расхождения показывают, что последствия малых доз облучения в значительной мере зависят от местных условий.

Отмечу как еще слабоизученную проблему воздействия малых доз радиации на умственное развитие детей в связи с нарушением обмена тирозина. Обследования детей, родившихся после атомной бомбардировки, показали уменьшение индекса умственного развития (IQ) порядка 0,2—0,3 пункта на рад поглащенной дозы ионизирующего излучения.

Системные воздействия

Особенность группы недавно появившихся факторов при всем их разнообразии состоит в системном характере воздействий: мишенью оказываются системы органов и организм в целом. При системных воздействиях отдельные заболевания развиваются как следствие нарушения целостности и гомеостаза организма. Наиболее показателен в этом отношении иммунный статус, поскольку состояние иммунной системы зависит от многих факторов и отражает экологическую ситуацию в целом, в то время как вычленение отдельных компонентов представляет большую трудность. Иммунная система включает ряд взаимодействующих подсистем — лимфоидную, фагоцитную, гуморальную — каждая из которых продуцирует определенные типы иммунокомпетентных клеток. В нормально функциони-

* Gardner M. J. et al. Brit. Med. J. 1990, 300, 423—434.
** Nature. 1990, 347:604.
*** Hill C., Laplanche A. Nature, 1990, 347:755—757.

рующей иммунной системе поддерживаются постоянные соотношения между разными типами клеток, обеспечивающие их кооперацию. Поскольку иммунная система взаимодействует со всеми системами жизнеобеспечения по принципу управления с обратной связью, то можно сказать, что весь организм участвует в поддержании ее гомеостаза. В силу этого нарушения иммунной системы далеко не всегда происходят в результате прямого воздействия на нее (на одну из ее подсистем) тех или иных токсичных веществ или вирусов, а могут носить опосредованный характер как результат воздействий на эндокринную и нервную системы, болезней обмена веществ, онкогенеза и др. *В частности, иммунная недостаточность, возникающая в связи с пестицидным загрязнением и выражающаяся в сокращении Т-лимфоцитов и повышении синтеза иммуноглобулинов**, может быть связана с непосредственным воздействием на нервную систему, тогда как иммунологические эффекты нитратов (нарушение соотношений между регуляторными клетками Т-системы, гипериммуноглобулинемия-Е у детей***) — с обменными нарушениями, хотя здесь необходимы дополнительные исследования. Непрекращающаяся дискуссия по поводу СПИД отражает сложную этиологию этого заболевания. Его развитие у носителей вируса иммунодефицита безусловно связано с воздействием разнообразных «кофакторов».

Обнаружена большая естественная изменчивость по иммунологическим показателям, которая в условиях интенсивных воздействий экологических факторов неизбежно становится материалом для естественного отбора.

Несомненно существует интимная связь между иммунодефицитом и злокачественными новообразованиями. Онкогенез представляет собой сложный процесс, в котором принимают участие вирусные и клеточные онкогены, способные трансформировать клетки, а также гены, контролирующие рост клеточных клонов (пролиферацию клеток). Онкогенез может быть вызван активизацией онкогена или инактивацией (утратой) подавляющего рост гена вследствие различных мутаций, хотя нередко проявляется их совместное действие. Химические мутагены чаще всего вызывают соматические мутации, эффект которых—спорадический онкогенез — может проявиться через десятки лет после воздействия. Однако сравнительно небольшая часть мутаций проявляется в линии половых клеток и передается потомству, определяя наследственную предрасполо-

* Актуальные проблемы иммунологии: иммунодефицит и иммунокоррекция. Владивосток, 1987.

** Козлюк А. С. и др. Иммунологические методы в гигиенических исследованиях. Кишинев, 1987.

*** Козлюк А. С. и др. Гигиена и санитария, 1987. № 6. С. 26.

женность к онкологическим заболеваниям. Наследуемые мутации, как правило, участвуют в инициации онкогенеза, для развития которого требуется последующее накопление соматических мутаций. В любом случае клинические проявления в большой степени зависят от взаимодействий дефектного гена с другими генами и факторами среды.

Последние делятся на собственно канцерогенные и воздействия, способствующие инициации или развитию канцерогенных процессов. Поскольку необратимо трансформируется только делящиеся клетки, то вероятность трансформации зависит от пролиферативной активности и, таким образом, в качестве факторов риска могут выступать химические вещества, сами по себе не обладающие канцерогенным действием, но стимулирующие деление клеток (отметим, что и большинство онкологических заболеваний вирусного происхождения связаны с повышенной пролиферативной активностью, например, В-лимфоцитов, которая усиливается иммунодепрессией).

В этой связи имеет смысл разграничить генотоксичные факторы, непосредственно взаимодействующие с клеточным геномом, и негенотоксичные пролиферативные факторы, которые в свою очередь можно подразделить на митогенные, повышающие частоту митозов (или продлевающие фазу деления) и цитотоксичные, вызывающие гибель клеток и восстановительную пролиферацию*. Хотя ряд химических соединений имеет двойной— генотоксичный и пролиферативный эффект, пороговые дозы для того и другого могут различаться. Генотоксичные вещества и негенотоксичные, взаимодействующие с клеточными рецепторами (например, диоксин) часто не обнаруживают порогового эффекта. Однако те же соединения в больших дозах могут проявлять цитотоксичность, синергически резко повышающую онкологический риск. Такого рода взаимодействия усложняют задачу разработки норм и стандартов состояния среды, требующую системного подхода.

* Cohen S. M., Ellwein L. B. Science, 1990, 249:1007—1011.

ПРОГРАММЫ

Для большинства экологических проблем нет готовых решений (или их слишком много). В любом случае, учитывая сложность, многокомпонентность этих проблем, решение имеет форму программы, воплощающей системное ви́дение задачи (концептуальная часть) и путей ее достижения (план действий). Программы могут касаться частных вопросов или комплексного развития региона, страны, экономического сообщества и т. д. Мы рассмотрим общие подходы к разработке программ любого уровня.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛИ

Даже если цель кажется очевидной, ее формулировке следует уделить серьезное внимание. Например, при разработке программы полигона для хранения ядерных отходов в Неваде цель была сформулирована, исходя из нормативов Агентства по охране среды — рост смертности не более 1000 в последующие 10000 лет. Однако эксперты Национальной академии наук предлагают иную формулировку цели, основанную на вероятностной оценке радиоактивных выбросов, которая будет даваться поэтапно в ходе конструкторских разработок и определит более гибкую структуру программы*.

В бывшем СССР формулировки целей типа «увеличить сдачу зерна государству (или выплавку стали, улов рыбы и т. д.) в два раза во многом предопределили политику геноцида и экоцида. В стране или регионе могут, естественно, осуществляться проекты, направленные на улучшение того или иного экономического (экологического, социального) показателя. Но по-отдельности они в лучшем случае бессмысленны (будем ли мы жить лучше, если выплавка стали увеличится в два раза или ее, наоборот, следует сократить?), и нередко опасны. Каждый проект приобретает смысл и может быть оценен лишь в системе комплексной программы, направленной на повышение качества жизни, которое, собственно, и представляет собой единственно приемлемую цель развития в цивилизованном обществе.

* Science, 1990, 249:357.

КАЧЕСТВО ЖИЗНИ КАК ЦЕЛЬ РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

Качество жизни может, на первый взгляд, показаться слишком расплывчатым понятием. Однако его можно уточнить и квантифицировать с помощью системы критериев или одного комплексного критерия, в который могут войти, например, средняя продолжительность жизни, общая заболеваемость, жилищные условия, занятость, уровень доходов, образовательный уровень, возможность удовлетворения познавательных, эстетических и других культурных потребностей. Проблема состоит в выборе показателей и придании каждому из них относительного веса, что можно сделать экспертно, но лишь в свете той или иной философии жизни.

СТЕРЕОТИПЫ

Определяя, что хорошо и что плохо, каков относительный вес того или иного показателя качества жизни, мы исходим из сложившихся в обществе стереотипов, вместе составляющих обыденную философию жизни. В античном мире, например, цель жизни мужчины состояла в том, чтобы добыть славу на поле боя (что не мешало тут же оголить труп противника и присвоить доспехи; десятилетнее странствие Одиссея тоже имело побочной целью получение подарков, которые принято было давать в честь Зевса — ревнителя гостеприимства; тем не менее чрезмерное корыстолюбие осуждалось: «коварный душою мздолюбец», брошенное Ахиллом Агамемнону, было серьезным оскорблением), а женщины — в добродетели и верности семейному очагу (различие целей поддерживало и углубляло половой диморфизм). Киники и стоики отвергали жизненные блага, проповедуя аскетизм и позитивное отношение к смерти — установка, воспринятая ранним христианством.

В средние века сосуществовали контрастные стереотипы светской и духовной жизни, сближение которых сделалось основной задачей Возрождения. В годы французской революции считалось стыдным прожить больше тридцати лет. Критерий продолжительности жизни при этом терял всякое значение. Буржуазный стереотип тоже ориентировал на непродолжительную деятельную жизнь, 30—40 лет, которых предприимчивому человеку достаточно, чтобы сколотить состояние. После этого оставалось только правильно оформить завещание, время от времени внося в него коррективы.

В то же время существовали менее распространенные стереотипы, в частности, идущая от рабства установка на служение—посвящение жизни кому-то или чему-то, которая впослед-

ствии усиленно пропагандировалась тоталитарными государствами в качестве единственно достойной человеческого существования (другие отвергались и запрещались как низменные, индивидуалистические, антинародные и т. п.). Считалось логичным, что общее благоденствие будет достигнуто, если каждый отдаст ради него все силы и саму жизнь.

Современная философия жизни, при всем разнообразии стереотипов, приближается к признанию индивидуального вклада в материальную или духовную культуру в качестве цели, общий смысл которой заключается в продлении индивидуального существования (в культуре) после физической смерти. Показатели продолжительности жизни, здоровья, комфорта, образования и т. д. приобретают значение (вес) в связи с этой целью и независимо от разнообразия индивидуальных потребностей.

ПРОГНОЗ

Признание общих целей не исключает разнообразия стереотипов в частных сферах (например, сексуальной), придающего общественной жизни большую динамичность. Нашему современнику, пережившему несколько кардинальных смен стереотипов, легче представить себе их дальнейшую эволюцию, чем, скажем, человеку 19 в., жизненный уклад которого казался неизменным. Современный человек в силу этого в большей мере способен к интуитивному предвидению событий на основе несистематизированного жизненного опыта, которое можно рассматривать как низшую форму прогноза.

В обыденной жизни нередко используется прогноз по аналогии, который также можно отнести к низшим формам, хотя при большом сравнительном материале он приобретает научный характер.

Наиболее распространенная форма—экстраполяционный прогноз, основанный на анализе тенденций (трендов). В случае противоречивых тенденций или значительной неопределенности в их развитии экстраполяционный прогноз дается в нескольких вариантах. И, наконец, нормативный прогноз, в сущности, представляет собой программу действий, которая строится не от достигнутого, а от желаемого.

Нормативный прогноз наиболее рискован в силу сложных взаимоотношений между желаемым и возможным. При тоталитарном режиме признавались исключительно нормативные прогнозы, что привело к огромным издержкам. Нормативный прогноз реалистичен лишь в том случае, если он опирается на общие закономерности развития.

Впрочем, без понимания общих закономерностей недостоверны и другие виды прогноза — аналоговый и экстрополяцион-

ный, так как легко ошибиться в выборе аналогов или принять случайное стечение обстоятельств за генеральную тенденцию.

Иллюстрацией может служить развитие СССР и входивших в его состав стран в переходный период, который еще не завершился. Перестройка марксизма парадоксальным образом проводилась с марксистских позиций. Примат экономики не подвергался сомнению. Со свойственной этой доктрине безаппеляционностью игнорировался огромный исторический материал, показывающий, что все крупные преобразования подготавливались и начинались в духовной сфере, от которой импульсы развития с большим запозданием проникали к инерционным экономическим структурам.

Успешные экономические преобразования могут осуществить подготовленные к этому люди, уровень знаний которых соответствует прогнозируемому уровню экономического развития. Поэтому в странах с конкурентоспособной экономикой образование признано высшим приоритетом общественного развития. В СССР бурно стартовавшие в первые годы перестройки и столь необходимые процессы духовного обновления были захлестнуты волной проводимых сверху экономических реформ. Попытки аналогового и экстраполяционного прогноза в условиях теоретического вакуума не имели успеха (в частности, польский опыт не мог служить аналогом для огромной страны с огосударствленным сельскохозяйственным производством; среди стран с рыночной экономикой, кроме Японии и ФРГ, есть более близкие по ресурсным и социальным параметрам Иран и Аргентина). Не были предусмотрены такие неизбежные процессы, как рост агрессивности, в прежние времена переадресованной реальным и мнимым внешним врагам, а с исчезновением таковых превратившейся в фактор внутренних междоусобиц, расовых, национальных и политических конфликтов.

Прогнозная модель переходного периода, основанная на объективных закономерностях развития, позволила бы избежать многих ошибок и разочарований. Проблема заключается в том, что сами «объективные закономерности» сильно дискредитированы постоянными ссылками на них со стороны лиц, проводивших волюнтаристскую политику. «Объективные закономерности», провозглашенные марксизмом, опираются на гегельянский параллелизм развития материи и сознания, представляющий сейчас преимущественно исторический интерес как предвосхищение—в туманной форме—теории систем. Последняя рассматривает общие закономерности развития систем, которые могут быть признаны объективными, поскольку основываются на проверяемых законах термодинамики (см. эволюционный раздел). Теория систем позволяет выделить

тенденции, отвечающие нормальному развитию системы (увеличение разнообразия, внутренней энергии, сокращение производства энтропии) и ввести их в нормативный прогноз. Нетрудно убедиться в том, что кризисное состояние экономики и социальной сферы обусловлено развитием прямо противоположных тенденций (централизация, ограничение хозяйственной инициативы, личной свободы — снижение внутренней энергии системы; моноиндустрия, монокультура, философский и эстетический монизм — снижение разнообразия; ресурсоемкие высокоотходные технологии, омертвение капиталовложений, вторичность научной и художественной продукции, ритуализация общественной жизни — рост энтропии и т. д.). Чтобы поддержать первые тенденции и предотвратить вторые с помощью управляющих решений, необходимо их исследование на имитационных моделях.

ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ

Мы примерно определили последовательность действий при разработке программы регионального развития. Формулируется цель, так или иначе связанная с повышением качества жизни. Определяются критерии качества жизни и, если для них найдены числовые выражения, вычисляется интегральный показатель. Пусть цель заключается в увеличении интегрального показателя на пять баллов за пятилетие. Следующие шаги — составление перечня объектов, от которых в наибольшей степени зависит интегральный показатель, экстраполяционный прогноз, корректирующий его нормативный прогноз, который определит, какой из объектов получит преимущественное развитие посредством централизованных капиталовложений или выдачи лицензий.

Допустим, что цель может быть достигнута строительством фабрики, больницы или созданием природного парка. Выбор в большой степени зависит от экономической ситуации, хозяйственной специализации региона, профессиональных традиций и т. д. В индустриальном районе предпочтение может быть отдано расширению производства, которое при относительно низких затратах даст увеличение занятости и доходов. Однако дополнительные выбросы и необходимость размещения твердых отходов (сокращение рекреационных ресурсов, рост общей заболеваемости) могут одновременно понизить интегральный показатель на шесть баллов. Больница кажется беспроигрышным вариантом, но для привлечения высококвалифицированных специалистов, без которых она практически бесполезна, необходимо повысить комфортность и экологическую безопасность городской среды, что приводит нас к природному парку как приоритетному объекту.

Таким образом, нам не обойтись без имитационной модели, показывающей наиболее существенные связи между интересующими нас объектами. В более сложном варианте для каждого блока модели разрабатывается схема причинно-следственных цепей, или диаграмма потока, входы и выходы которой соединяются системой прямых и обратных связей с другими блоками. Для анализа пространственных взаимоотношений между различными компонентами применяют картографические методы, в частности, совмещение компонентных карт, которое в компьютерном варианте производится автоматически.

Однако на практике приходится иметь дело с очень большим числом объектов, делающим объектную имитационную модель громоздкой и «нечитаемой». По этой причине анализ региональных проблем с помощью имитационных моделей чаще всего остается благим пожеланием. Выход, по-видимому, заключается в замене объектных моделей системными, представляющими более высокий уровень интеграции знаний. В системной модели вместо объектов и отраслей могут фигурировать разнообразие отраслей производства, комплексный показатель загрязнения, суммарный показатель заболеваемости и другие критерии, характеризующие объем, структурированность, информационную емкость, энтропию, внутреннюю энергию и другие важнейшие параметры системы. Отдельные решения оцениваются по их воздействию на эти параметры.

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ

В силу их сложности экологические проблемы чаще всего требуют групповых решений. Для разработки программ создаются большие коллективы, которые необходимо структурировать (в соответствии со структурой самой проблемы), так как по опыту известно, что для эффективной совместной работы в группе должно быть пять-восемь человек. В октете еще различимы индивидуальные голоса, а большее число — это уже хор с солистами и дирижером. Потенциально возможности группы шире, чем у самого лучшего аналитика в ее составе. Однако с появлением хора качество групповых решений резко падает и может оказаться много ниже индивидуального. Решения с наиболее катастрофическими последствиями вырабатывались группами или, как у нас говорят, коллегиально.

Низкое качество групповых решений объясняется организационными и методическими просчетами, которые ведут к ложному консенсусу, или группомыслию («groupthink»). Суть группомыслия заключается в том, что цель работы отступает перед интересами группы и отношениями внутри нее. Группомыслие выражается в следующем:

— мнению членов группы априори отдается предпочтение перед мнением аутсайдеров: советы и критика со стороны не принимаются;

— самоутверждение: группа из инструмента принятия решения легко превращается в инструмент самоутверждения, если не пресечь на ранней стадии работы попытки авторитарного руководства;

— авторитарное руководство: назначенный или выдвинутый в силу более высокого служебного положения, научного статуса и т. п. лидер устанавливает группомыслие даже в том случае, если он не настаивает на своем мнении (не имеет такового), а только заботится о консенсусе и регламенте. Оказывается заслужить одобрение лидера важнее, чем отстоять свое мнение (Лидер: «Коллега, нельзя ли короче? У нас мало времени...» Хор: «Правильно... Нельзя же до бесконечности...»);

— утрата личной ответственности (в связи с предыдущим);

— разногласия внутри группы представляются второстепенными по сравнению с желанием сохранить консенсус;

— инакомыслие рассматривается как угроза распада группы:

— личное мнение подвергается самоцензуре из боязни спровоцировать конфликт и утратить положение в группе.

Следующие обстоятельства способствуют возникновению группомыслия:

— спешка: если поставлены нереальные сроки и группа приняла их, то выяснением разногласий заниматься некогда и группомыслие фактически предрешено;

— разношерстность: включение в группу, наряду со специалистами, чиновников, хозяйственных руководителей и т. д., снижает уровень дискуссии и заставляет искать упрощенные решения, доступные наименее осведомленному члену группы; в таких ситуациях возможен компромисс, но не консенсус;

— профанация: группа сознательно профанирует решение, подгоняя его под интеллектуальный уровень заказчика или под коньюнктуру (доводы типа «сейчас не время» или «депутаты нас не поймут» нередко склоняют чашу весов в пользу более слабого решения);

— выпадение стадий: в силу спешки, некомпетентного руководства и т. п. опускаются анализ причин, анализ альтернатив и другие необходимые стадии принятия решения;

— решение любой ценой: престиж и стремление оправдать затраты заставляют принять паллиатив, когда решение не может быть принято по объективным причинам. В экологии такого рода ситуации особенно опасны.

В качестве мер по предотвращению группомыслия можно рекомендовать решительный отказ от неприемлемых сроков

(тем более что они почти всегда устанавливаются, исходя из служебных интересов, а не интересов дела); подбор экспертов по профессиональным качествам; перечисление всех экспертов как авторов решения, желательно в алфавитном порядке; поочередное председательство; отказ от скидок «на профана» и паллиатив.

В то же время окончательные и бесповоротные решения в экологии невозможны, поскольку и проблемы, и эксперты находятся в развитии. Решения и соответствующие действия изменяют состояние проблемы, теперь уже требующей иных решений. Стиль принятия решений меняется от поколения к поколению. Решение — это процесс, нуждающийся в мониторинге.

Существует несколько десятков моделей анализа проблем и принятия решений*, назначение которых состоит главным образом в упорядочении и стандартизации аналитической процедуры, позволяющей избежать выпадения стадий и получить сопоставимые результаты. В этой и последующих главах даны примеры схем «причин-следствий», «дерева решений», «уотсоновских кругов» и др.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ

Оценка состояния природных и природно-антропогенных систем производится на всех этапах разработки модели принятия решения. Состояние может быть оценено в абсолютных величинах (например, как сумма баллов по различным показателям) или относительно желательного (нормального) состояния. Если стоит вопрос об экстраординарных мерах (предусмотренных Законом об охране окружающей природной среды в отношении зон экологического бедствия и чрезвычайных экологических ситуаций), то отклонение оценивается по градациям экологического неблагополучия, или опасности (систематическое ухудшение показателей), кризиса (ситуация на грани катастрофы), бедствия, или катастрофы (разрушение эколого-экономической системы, основ существования людей). Убедительность подобных оценок определяется выбором критериев.

В качестве критериев выступают наиболее существенные показатели состояния природной среды, экономических и социальных условий. В каждой из этих областей можно использовать множество показателей. Однако число критериев должно отвечать требованию объективности и экономии. Объективность растет с числом критериев лишь до определенного предела,

* Coughlan B. A. K., Armour C. L. Group decision-making techniques for natural resource management application. U. S. Department of the Interior Fish and Wildlife Serv., Washington, D. C. 1992.

после которого начинает снижаться из-за шума, создаваемого малозначащими показателями. Неравноценность критериев связана в первую очередь со степенью обобщения информации, причем интегральным критериям придается больший вес. Вместе с тем работа с небольшим числом обобщенных показателей может привести к утрате объективности в процессе опосредования информации. Поэтому оптимальным следует считать сочетание обобщенных и частных показателей.

Критерии состояния природной среды

Системные критерии состояния природной среды подразделяются на ландшафтные и экосистемные. Ландшафтные критерии вытекают из методологии ландшафтного планирования, в рамках которого разработаны представления о емкости ландшафта, структурной сложности и нормах нарушенности (соотношения между измененными и ненарушенными урочищами и другими элементами ландшафта). В оценке состояния степень антропогенного преобразования ландшафта, деградации ландшафтных единиц, ресурсно-сырьевая нагрузка и распределение загрязнений приводятся в процентах от площади или по структурным компонентам, предпочтительно в виде картосхем.

Среди экосистемных критериев выделяются показатели нарушенности сукцессионного процесса—закономерного изменения видового разнообразия, спектра жизненных форм, биомассы, продуктивности, накопления отмершей органики, деструкционной активности, биогенного круговорота в целом. В кризисных ситуациях наблюдается прерывание сукцессии — снятие климаксной фазы, девиация (отклонение), переключение на иную последовательность или ретроградное развитие.

Неблагополучное состояние характеризуется существенным отклонением экосистемных параметров (их траекторий в процессе автогенетической сукцессии) от нормального развития в ненарушенных условиях. Наиболее показательно увеличение отношений продуктивности (P) к биомассе (B), мортмассы (M) к биомассе, биомассы консументов (B_c) к биомассе первичных продуцентов (B_p) при сокращении видового разнообразия (H), а также интегральный показатель нарушения ценотического климакса:

$$dK = \sqrt[4]{\frac{P}{B} \cdot \frac{M}{B} \cdot \frac{B_c}{B_p} \cdot \frac{1}{H}}$$

При этом для характеристики видового разнообразия рекомендуется использовать индексы, характеризующие выравненность встречаемости, которая имеет тенденцию к увеличению в ходе

сукцессии (и, соответственно, к уменьшению при нарушении климакса), в частности, информационную функцию:

$$H = -\sum \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N}$$

где n_i — число особей вида i в пробе из N особей.

Кризисное состояние экосистемы соответствует дисклимаксу — снятию климаксной фазы. При уровне воздействий, превышающем регенерационные возможности экосистемы, сукцессионный процесс обрывается на предклимаксной стадии. Если это состояние поддерживается длительное время, восстановление климаксной фазы оказывается невозможным и после снятия воздействий: система необратимо переключается на иной путь развития (ряд полуприродных экосистем возник таким образом). Дисклимакс распознается по утрате доминантов климаксной фазы и характерной для нее аспективности, а также по соответствию параметров состояния (см. выше) одному из промежуточных состояний эталонной сукцессии.

Экологическое бедствие характеризуется необратимым (в масштабах времени, сопоставимых с длительностью сукцессионных событий) ретроградным развитием экосистемы, которое выражается не только в приближении качественных и количественных показателей к значениям, свойственным ранним стадиям сукцессии (высокая продуктивность, высокая скорость производства мортмассы, низкое разнообразие, моно- или олигодоминантность, разомкнутость биогенного круговорота и др.), но и утратой системных свойств, в частности:

— характерных для экосистемы (или отдельных стадий ее развития) соотношений между параметрами (продуктивностью и общим видовым разнообразием, биомассой и спектром жизненных форм продуцентов, консументов, редуцентов и др.);

— приближением распределения частот встречаемости видов к нормальному, указывающему на независимость компонентов биологического разнообразия от структуры сообщества;

— увеличением амплитуды колебаний численности, при котором вследствие дрейфа генов утрачивается харди-вайнберговское равновесие частот генов и генотипов;

— увеличением частоты абберраций, выходящих за пределы видовой нормы, затрагивающих признаки надвидовых таксонов («макромутаций»), в нормальной экосистеме, контролируемой естественным отбором, обычно не превышающей долей процента (например, у рыб р. Москва*);

* Яковлев В. Н. Зоологический ж., 1992, 71(6):81—85.

— общим сокращением видового разнообразия как показателя сложности структур экосистемы.

Для вычисления последнего показателя рекомендуется определение потенциального разнообразия на основе зависимости между числом видов и площадью:

$$Hd = xHc\left(\frac{Sd}{Sc}\right)^{0,25}$$

где Hd — потенциальное число видов экосистемы d (зоны бедствия), Hc — число видов аналогичной экосистемы, охраняемой в заповедном режиме, Sd, Sc — соответствующие площади; x — коэффициент, принимающий значения от 0,22 до 0,30** (в приближенных расчетах принимается, что десятикратному увеличению площади соответствует двукратное увеличение числа видов).

Критерии состояния населения

Демографические критерии могут быть выведены из характеристики «кризисных популяций», которым свойственны высокая рождаемость при высокой детской смертности, сокращение средней продолжительности жизни, омоложение возрастного спектра, сдвиг соотношения полов в сторону мужского пола. Отбор в условиях кризиса дает преимущество наиболее фертильным генотипам и ведет к быстрому изменению генофонда. Частые нарушения беременности — одно из очевидных проявлений естественного отбора. Эти закономерности могут быть существенно модифицированы социальными факторами. Тем не менее средняя продолжительность жизни и отношение рождаемости к ранней неонатальной смертности сохраняет значение системных критериев в большинстве ситуаций. Причинная связь с экологическими условиями может быть установлена на основании корреляций между ухудшением этих показателей и деградацией природной среды.

Среди медицинских показателей наиболее информативны следующие.

Суммарный показатель заболеваемости (отношение зарегистрированных заболеваний за год к численности населения). Значение этого показателя определяется тем, что большое число заболеваний (по разным оценкам, от 20 до 80%) имеют средовый компонент, и в то же время однозначные соответствия между воздействием среды и заболеванием достоверно установленны в немногих случаях.

** Preston F. W. Ecology, 1962, 43:185—215.

Иммунный статус. На начальных стадиях неблагоприятных воздействий среды возможно повышение резистентности и иммунитета, за которым следуют активизация аутоиммунных реакций и иммунодепрессия.

Перинатальная патология как наиболее очевидное проявление мутагенеза и естественного отбора — основных факторов изменения генофонда.

В качеетве частных критериев показательны заболевания на «входе» в систему и «выходе» из нее — респираторные, дерматологические, желудочные, гепатит и т. д. Ситуационно на первое место могут выдвигаться критерии иного характера, например, онкологические или синдромы хромосомных аномалий в тех случаях, когда бедствие обусловлено генотоксичными загрязнениями.

Среди экономических критериев, наряду с тривиальными показателями (валовой продукт, доходы населения, капитальные вложения, амортизационные отчисления, сальдо платежного баланса и др.), следует особо выделить характер товарообмена. Здесь возможны комплексные оценки, отражающие градацию между автаркией — самообеспечением всего потребления внутри региона — и полной зависимостью от завоза сельскохозяйственной и иной продукции. Последнее в условиях экологического бедствия оказывается более благоприятным. Характер товарообмена влияет также и на экспорт факторов бедствия за пределы региона.

К экспорту относится, в частности, перенос радиоактивных загрязнений, объем которого зависит от энергии ландшафтных процессов (например, экспорт радиоактивных загрязнений из Белоруси на территорию Украины в силу ландшафтных особенностей гораздо активнее, чем в обратном направлении).

По видимому имеет смысл наряду с зоной бедствия определить ее «ореол»—более обширную территорию, на которую факторы бедствия экспортируются природными или коммерческими путями.

Пространственно-временные факторы

Устойчивость критериев в пространстве и времени характеризуется площадью (в процентах от общей площади) или числом ландшафтных единиц, в пределах которых определенная тенденция в их развитии сохраняется длительное время, а также скоростью процессов и их обратимостью. Хотя состояние природной среды во многом зависит от естественной цикличности колебаний климата, уровня моря и других вековых процессов, изменения воспринимаются как необратимые, если фазы циклов значительно превышают продолжительность человеческой

жизни. В то же время единичные воздействия катастрофического характера (например, залповые выбросы, лесные пожары, разливы нефти) не относятся к категории экологического бедствия, если способность экосистемы к самовосстановлению не подорвана или если последствия могут быть относительно быстро устранены техническими средствами. В подобных случаях правильнее говорить о чрезвычайных экологических ситуациях, требующих оперативных мер, особенно в связи с возможностью их перерастания в бедственные.

Воздействие на человека во многом зависит от продолжительности пребывания в неблагоприятных условиях: люди могут находиться в зоне бедствия постоянно или только в рабочее время, покидать ее для отдыха и т. п. Чем шире зона, тем более вероятно постоянное пребывание основной массы населения в ее пределах. Существенную роль при этом играет инфраструктура, которая зависит от уровня жизни и, в свою очередь, определяет его. В инфраструктуре отражены тенденции к сближению или пространственному разобщению жилых и производственных локусов. Если последние являются источником воздействий, повлекших за собой экологическое бедствие, то инфраструктурный фактор приобретает решающее значение. Неразвитость транспортной сети, высокая стоимость энергоносителей и низкие доходы способствуют концентрации жилых массивов, детских учреждений, торговых и культурных центров вблизи производств, усугубляя экологические бедствия техногенного характера. Те же факторы препятствуют выезду за пределы региона для рекреации. В подобных условиях существенное ухудшение здоровья неизбежно даже в пределах относительно узкой зоны.

Интегральные показатели

Интегральные показатели основаны на принципе взаимосвязи экологических, экономических и социальных факторов. В международной практике в настоящее время чаще всего используется три таких показателя. «Индекс общественного развития» (Human Development Index, HDI) введен Организацией объединенных наций и представляет собой комбинацию трех показателей: средней продолжительности жизни, осведомленности (грамотности как необходимого условия получения информации) и уровня потребления (валовой национальный продукт на душу населения). Индекс не дает непосредственной оценки равномерности распределения доходов и состояния природной среды, но эти критерии развития косвенно выражены через продолжительность жизни (природная среда и доходы, открывающие доступ к медицинскому обслуживанию, входят как факторы).

Примечательно, что США по HDI занимают лишь девятнадцатое место, значительно уступая Австралии, Канаде и Испании*.

«Индекс устойчивого экономического процветания» (Index ot Sustainable Economic Welfare, ISEW), разработанный Г. Дейли и теологом Дж. Коббом, включает потребление на душу населения (нормализованное по неравномерности распределения), ряд показателей, отражающих экономический ущерб от деградации природной среды, в частности, утраты биологических ресурсов, сокращения пашни и водно-болотных угодий, эрозии почв, урбанизации и загрязнения, а также показатель «долговременного ущерба» от климатических изменений и редукции озонового слоя. Индекс указывает на повышение качества жизни в США с 1950 по 1976 гг. с последующим медленным спадом. Этот наиболее емкий индекс может быть рассчитан для немногих стран, располагающих, подобно США, достаточной информацией о состоянии природной среды.

В. М. Коропалов (Институт охраны природы и заповедного дела) предложил для методики определения зон экологического бедствия в качестве интегрального индекса отношение $\frac{H}{R \cdot P \cdot D}$, где H — индекс здоровья (величина, обратная суммарному индексу заболеваемости, см. выше), R — индекс ресурсов (разница между суммарными запасами и суммарным изъятием), P — индекс загрязнения и D — доходы на душу населения. Критичность ситуации характеризуется отклонением локального индекса от его среднего значения по стране или региону**.

Учитывая недостаток данных, многие специалисты предпочитают более простые индексы, такие как потребление зерновых на душу населения (большей частью в виде продуктов животноводства). Этот показатель сравнительно выровнен в отношении распределения доходов и косвенно отражает состояние природной среды.

Системные показатели основаны на теории открытых систем, нормальное развитие которых характеризуется сокращением скорости прироста энтропии и увеличением внутренней энергии, т. е. суммарной кинетической энергии компонентов.

Общий прирост энтропии (ΔS) складывается из приростов по всем ее компонентам — экологическим, экономическим и социальным показателям перехода на низший энергетический уровень: мортмассе, отходам, суммарному загрязнению, амортизационным отчислениям, общей заболеваемости, смертности и т. д.

* Brown L. R. et al. State of the World. W. W. Norton, New York, London, 1991.

** См. также Приложение математических моделей к анализу эколого-экономических систем.— Новосибирск: Наука, 1988.

Скорость прироста энтропии для временного интервала t составляет:

$$\frac{\Delta S}{t} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta S_i}{t}$$

При нормальном развитии она принимает отрицательные значения, в критической ситуации — нулевое, в бедственной — положительное.

Аналогично изменение внутренней энергии может быть оценено по таким показателям, как число трофических связей в биоте, демонополизация производства, разнообразие образовательных программ и т. д. Этот подход предлагается как перспективный для интегральных оценок.

Мониторинг

Мониторингом называется систематическое отслеживание динамики параметров системы в ходе ее развития. Мониторинговая информация собирается гидрометеорологическими и санитарно-эпидемиологическими станциями, заповедниками (в виде летописи природы), ведомствами в форме учетов, таксаций, кадастров природных ресурсов и т. д. Методы мониторинга весьма разнообразны — от анкетирования населения до дистанционного слежения, включая компьютерное картографирование (геоинформационные системы). Технические средства хранения и анализа информации быстро совершенствуются.

Вместе с тем программа мониторинга эффективна лишь в том случае, если четко определены цели и выбраны оптимальные параметры. Мониторинг по всем мыслимым параметрам избыточен в отношении информации, не находящей спроса, не говоря уже о затратах.

Исследовательские цели. Необходимость в мониторинге возникает в ходе разработки и последующей верификации теоретической модели. Если речь идет, например, о парниковом эффекте техногенных газов, то модель воспроизводит структуру их источников, стоков и обратных связей. Последние имеют критическое значение, поскольку именно от них зависит, будет ли парниковый эффект сбалансирован (например, увеличением облачности) или произойдут изменения климата в сторону потепления или похолодания. В соответствии с этим должны быть расставлены приоритеты в программе мониторинга.

Экосистемный мониторинг (к которому относится и летопись природы) может оказаться чрезвычайно дорогостоящим из-за большого числа параметров. Однако определение исследовательских задач позволяет свести их к минимуму. Экосистема

осуществляет круговорот веществ и, следовательно, ее функциональное состояние наиболее полно характеризует замкнутость круговорота, для мониторинга которой достаточно немногих параметров (таких, например, как вынос фосфора, опадо-подстилочный коэффициент* или число мигрирующих видов).

Управленческие задачи. В соответствии с задачами управления состоянием среды и природными ресурсами могут осуществляться различные виды мониторинга — ландшафтный, популяционный, ресурсный и т. д. Рациональная организация мониторинга возможна лишь на основе модели управления объектом или системой. Общее представление о таких моделях дает анализ риска (см. ниже). Модель воспроизводит причинные связи между объектом и воздействующими на него факторами, которые образуют несколько иерархических уровней. Отбираются управляемые факторы и среди них те, регуляция которых может дать наибольший эффект на выходе. Программу мониторинга целесообразно ориентировать на эти факторы. Например, может быть показано, что наибольший ущерб от пестицидов связан с их попаданием в грунтовые воды. Критическим фактором в этом случае оказывается защищенность грунтовых вод. В последующих разделах варианты подобных моделей разобраны более подробно.

ОВОС

Аббревиатура ОВОС означает «оценку воздействия на окружающую среду»— перевод английского обозначения этой процедуры, введенного в США более двадцати лет назад**. ОВОС обязательна при проектировании любой деятельности, так или иначе влияющей на природную среду, и в отечественной практике предоставляется проектировщиком как материал для экологической экспертизы. В принципе ОВОС, во-первых, характеризует проект как экологически приемлемый или неприемлемый и, во-вторых, дает материал для сравнения альтернативных проектов. В связи с этим к ОВОС предъявляются следующие требования.

Полнота данных. Чтобы по возможности полно учесть виды воздействий и их последствия составляются соответствующие перечни и матрицы, прототипом которых служит матрица Л. Леопольда (1971 г.), в которой даны последствия каждого вида воздействий для основных компонентов среды, например,

* Базилевич Н. И., Родин Л. Н.— В кн.: Общие теоретические проблемы биологической продуктивности.— Л.: Наука, 1969.
** Мунн Р. Е. (ред.) Вторжение в природную среду. Оценка воздействия.— М.: Прогресс, 1983.

влияние нарушения почвенного покрова на атмосферный воздух, водоемы, биоту, здоровье человека и т. д. Такого рода матрицы полезны как составителям ОВОС, так и экспертной комиссии для систематизации и оценки полноты данных.

В расширенном варианте ОВОС для обоснования программ развития территории аналогичные матрицы могут быть составлены с учетом всех существующих и планируемых видов деятельности и их влияния на компоненты природной и социальной среды, например:

Виды деятельности	Природная среда			Население		
	Атмосферный воздух	Поверхностные воды	Растительность	Занятость	Шумовое загрязнение	Рекреационные ресурсы
Автономное отопление	30	50	40	10	0,5	10
Строительство ТЭЦ	—20	—30	+10	—(30—40)		
Строительство автодороги	+30	+10	+20	—(20—30)	+(10—15)	+(10—15)

Возможность количественных оценок. В приведенном здесь примере оценки (условные) в млн. рублей соответствуют затратам на компенсацию вредных воздействий (включая стоимость очистки, выплат за ущерб здоровью, имуществу, пособий по безработице и т. д.). В верхней строчке даны затраты при существующих автономных системах отопления, в последующих — сокращение (минус) или увеличение (плюс) соответствующих затрат в результате строительства ТЭЦ и связанной с нею автодороги (список видов деятельности можно продолжить.) Сумма цифр в горизонтальных строчках дает оценку одного вида деятельности, в столбцах—воздействие всех видов деятельности на один компонент природной или социальной среды (в данном случае строительство ТЭЦ, являющейся мощным стационарным источником загрязнения воздуха, тем не менее позволит сократить этот вид загрязнений по сравнению с существующими автономными системами; одновременно рост занятости превысит свободные трудовые ресурсы и вызовет приток населения с соответствующими затратами и т. д.).

В результате анализа таблицы будет определен суммарный эффект осуществления программы, а его стоимостное выражение позволит хотя бы приблизительно оценить финансовую

ситуацию. Если программа убыточна, то в нее можно ввести новые компоненты, которые позволят снизить сумму затрат по тому или иному столбцу. Задача заключается в том, чтобы сделать программу прибыльной, иначе ее осуществление не имеет смысла (при том условии, разумеется, что мы нашли стоимостное выражение всех существенных факторов, включая моральные, эстетические и т. д.; в противном случае последнее слово может оказаться за нецифровыми оценками).

Стоимостная оценка более трудоемка, чем часто применяемая в практике ОВОС балльная. Однако ее преимущества очевидны. Балльную оценку, по-видимому, можно рекомендовать для предварительных ОВОС.

Пределы. От ОВОС требуется не только сравнительная характеристика альтернативных проектов, но и категорическое исключение тех из них, которые могут привести к превышению предельных величин воздействий (ПДК, экологических норм, фоновых показателей заболеваемости и т. д.) или затрат, если они жестко лимитированы. Желательно, чтобы форма ОВОС акцентрировала внимание на предельных значениях. В нашем примере сумма цифр верхней строчки — предел воздействий в их стоимостном выражении, поскольку с ее превышением реализация программы теряет смысл.

Объективность и определенность. Объективность ОВОС — наиболее трудновыполнимое требование. Практикуются оценки разными экспертами, из которых выводится средняя. Более продуктивно достижение консенсуса, для которого используется такой прием, как повторные оценки после обсуждения, побуждающего экспертов вносить коррективы, которые сближают их позиции («дельфийский метод»). Оставшиеся расхождения можно рассматривать как меру неопределенности оценки (в нашем примере социальные оценки, правая часть таблицы, даны в интервалах значений, которые на данном этапе исследования уточнить невозможно), показывающую, по каким позициям необходимы дополнительные данные (исследования).

Если сократить неопределенность не удается, то из двух альтернативных проектов целесообразно выбрать не самый прибыльный, а самый устойчивый, позволяющий рассчитывать на успешную реализацию (или минимальные убытки) при неблагоприятном стечении обстоятельств.

Прогностичность. Относительная оценка воздействий изменяется с развитием ситуации. Например, развитие ирригации в первую очередь сказывается на состоянии водных ресурсов и лишь через некоторое время проявятся засоление почвы и другие следствия, которые изменят общую картину. Поэтому целесообразно представить ОВОС для двух или не-

скольких временных срезов. В некоторых случаях предельные воздействия проецируются в будущее. Так, при оценке проекта захоронения радиоактивных отходов может быть поставлено условие, чтобы рост заболеваемости лейкемией не превысил 1% через 10 тыс. лет. Подобная задача из области нормативного прогноза может быть решена методом анализа риска.

АНАЛИЗ РИСКА

Методология анализа риска разработана в отношении радиоактивных источников. В США нормы риска устанавливает Комиссия по ядерному регулированию. Они выражаются в вероятностных показателях: (1) числа аварий ($1x10^{-4}$)
(2) несчастных случаев со смертельным исходом ($5x10^{7}$)
(3) канцерогенных последствий ($2x10^{-6}$).
Денежное выражение норм дается из расчета 1000 долларов на 1 рем на человека для (1), 1 млн. долларов на один случай для (2) и 100000 долларов на один случай для (3). При всей условности денежное выражение позволяет рассчитать эффективность затрат на дополнительные меры безопасности*.

Схема анализа риска для принятия решений (например, о строительстве хранилища радиоактивных отходов, по Р. Брауну** включает определение цели (в данном случае верхнего предела суммарных выбросов радионуклидов за 100 тыс. лет с 90% вероятностью) и оценку соответствия этой цели предлагаемого технического решения (конструкции подземного хранилища) по всем его составляющим. Последние образуют несколько иерархических уровней (первый — способы выхода радионуклидов с газовыми выбросами, грунтовыми водами, из-за антропогенных воздействий, второй — прохождение через геологические и инженерные препятствия, третий и последующие — типы горных пород, время просачивания грунтовых вод, пористость, гидравлический градиент и т. д.). Для каждого параметра обозначается неопределенность оценки риска, которая носит объективный характер (например, зависимость от климатических колебаний) или может быть сокращена с помощью дополнительных исследований.

Вероятность достижения цели по уровням и на выходе апроксимируется суммой вероятностей параметров предыдущих уровней с учетом их ковариационной зависимости (при этом неопределенность возрастает при переходе с одного уровня

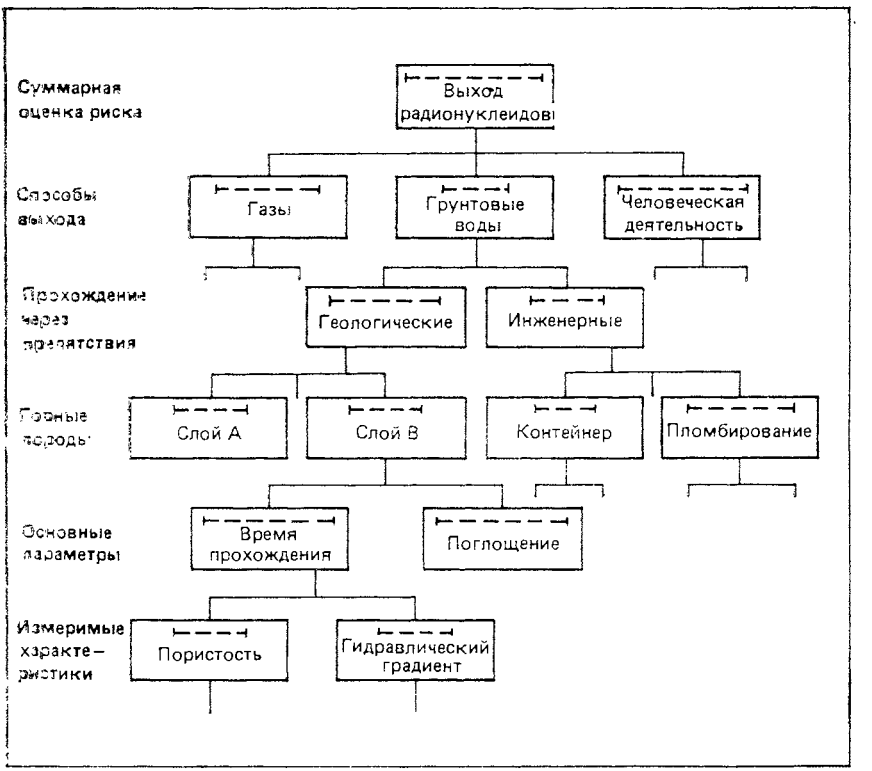
* Brown R. V., Ulvila D. W. Risk Analysis, 1988, 8:271—282.
** Brown R. V. Proceedings 1988 Annual Meeting Decision Sci. Inst. Las Vegas, 1988; Managing research to establish acceptable risk. George Mason University, 1992.

на другой за счет неопределенности связи между ними — ошибки модели). Вместе с тем цели для отдельных параметров могут быть ниже общей цели (например, 80% вероятность вместо 90%), поскольку стандартное отклонение суммы меньше суммы стандартных отклонений компонентов.

Модель позволяет обосновать выбор между альтернативными решениями задачи, исходя из двух возможностей: сократить затраты или, при фиксированных затратах, увеличить вероятность достижения цели.

Для оценки затрат целесообразно разделить параметры модели на контролируемые и неконтролируемые, т. е. недоступные воздействию (например, светимость Солнца). Для контролируемых параметров рассчитывается зависимость между затратами и «прибылью», т. е. приростом вероятности достижения

Пример схемы анализа риска (размещения радиоактивных отходов). Длина пунктирной линии соответствует вероятностной оценке фактора, по Р. В. Брану (R. V. Brown, in press).



цели. В случае неконтролируемых параметров капиталовложения могут быть направлены на исследования с целью уменьшения неопределенности — повышения достоверности модельных расчетов. Модель позволяет определить относительную эффективность затрат по отдельным позициям, обеспечивая принятие решений как по проблеме в целом, так и по предпочтительному вложению или перераспределению средств.

В разделе «Нормирование» аналогичная модель использована для выбора объекта регулирования по степени вероятности достижения цели (снижения общей заболеваемости) на последовательных иерархических уровнях (с. 160). Схема в разделе «Потенциальное биологическое разнообразие» (с. 90) может быть использована для анализа риска утраты БР, если мы определим вероятность вклада каждого из факторов, что в принципе можно сделать на основе оценок скорости мутагенеза, отбора, видообразования и т. д. в естественных и нарушенных условиях.

ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ

Для ресурсной стратегии основополагающее значение имеет принцип устойчивого природопользования, смысл которого заключается в том, чтобы, потребляя, не лишить ресурсной базы последующие поколения (этот принцип распространяется и на духовные ресурсы). С позиций устойчивого природопользования не существует противоречия между охраной природы и потреблением ресурсов. Если принять во внимание не только материальную, но и духовную сферу потребления, то различие между природой и природными ресурсами выглядит весьма условным, и охрана природы, в сущности, совпадает с сохранением ресурсов.

Уже упоминалось, что человек как пионерный вид изначально занимал относительно широкую ресурсную нишу. Среди его предшественников известные по ископаемым остаткам парантропы питались грубой растительной пищей, что привело к преобладанию пищеварительной функции над интеллектом. Другая эволюционная линия оказалась более перспективной благодаря приготовлению (термической обработке) пищи, положившей начало развитию технологий — дальнейшему расширению ресурсной ниши. Эта тенденция исторически оправдана и, несомненно, сохранится в будущем. Уже сейчас трудно представить себе природный объект, который не мог бы служить актуальным или потенциальным ресурсом.

Следует иметь в виду, что когда речь идет о ресурсах, все оценки носят сугубо антропоцентрический характер. Свойства ресурса — это свойства «для нас». В качестве компонента при-

родных систем тот же ресурс проявляет совсем иные свойства. Формирование ресурса происходит под воздействием природных процессов, в которых он так или иначе участвует в соответствии со своими имманентными свойствами (например, окислительно-восстановительным потенциалом или ферментативной активностью) и экосистемной коньюнктурой. Использование ресурса равносильно его перемещению из «среды формирования» в «среду потребления», где те же имманентные свойства опосредуются уже социально-экономической коньюнктурой. Структура ресурсной ниши непрерывно изменяется вследствие имманентного развития ресурсных объектов и эволюции потребления. Ни одно из перечисленных ниже свойств не остается неизменным.

Дефицитность. Современная цивилизация находится в парадоксальной зависимости от ресурсов, запасы которых ограничены, в то время как несколько эволюционных линий фотосинтетиков независимо вышли на неограниченные ресурсы солнечной энергии, обеспечив тем самым устойчивое развитие жизни на нашей планете. Успехи последних лет в совершенствовании фото (тепло) электрогенераторов и сопутствующих технологических систем позволяют надеяться, что мы последуем их примеру.

Освоение ресурсной ниши естественно начинается с наиболее доступных ресурсов, которые далеко не всегда предпочтительны по другим свойствам. Развитие технологий может рассматриваться как актуализация потенциальных ресурсов. Стихийная направленность этого процесса определилась еще в древние времена как переход от ограниченных к более распространенным ресурсам (золото — медь — железо). Эта магистральная линия технологического прогресса должна быть поддержана всеми доступными средствами управления природными ресурсами.

Возобновимость. Традиционное деление на возобновимые и невозобновимые ресурсы носит условный характер, поскольку неизвестно ресурсов, которые можно было бы безоговорочно причислить к той или иной категории. Хотя поступление воды из земных недр, накопление торфа и сапропеля, рудообразование никогда не прекращаются, скорость этих процессов несопоставима со скоростью изъятия соответствующих — «невозобновимых»— ресурсов. Однако разведанные запасы минеральных ресурсов еще далеки от конечных. После нефтяного кризиса 70-х годов прогнозируемые запасы нефти и газа возросли почти вдвое за счет новых гигантских месторождений на арктическом шельфе и в других структурных зонах. Пока изъятие минеральных ресурсов компенсируется открытием новых и вовлечением в эксплуатацию прежде нерентабельных место-

рождений в результате усовершенствования технологий, эти ресурсы могут условно рассматриваться как возобновимые, а использование, не превышающее прироста, как неистощительное (предел, естественно, существует, но мы можем судить о его приближении лишь косвенно по сокращению темпов прироста разведанных запасов, которые, впрочем, зависят и от различных привходящих обстоятельств).

В то же время восстановление биологических ресурсов нередко оказывается практически невозможным. Например, сведение лесов нередко сопровождается глубокими изменениями почвы и гидрологических условий, затрудняющими возобновление. Горная тайга, задерживая снег, предохраняет почву от промерзания. После сплошных рубок вследствие глубокого промерзания могут образоваться гольцы, непригодные для восстановления лесной растительности. Быстро разрушаются и теряют необходимые для лесовозобновления свойства почвы сухих тропических лесов. Не менее серьезные проблемы возникают в связи с тем, что восстановленные ресурсы всегда так или иначе отличаются от первичных. Используя современные лесовосстановительные технологии, можно добиться сохранения породного состава и бонитетных показателей, но все равно вторичные леса отличаются от первичных, как дистиллированная вода от питьевой. Старый лес имеет сложную синузиальную и консорционную структуру, складывающуюся в течение столетий и во многом определяющую биологическое разнообразие, устойчивость лесного биогеоценоза, его средозащитные свойства. Восстановить эту структуру в первозданном виде практически невозможно. Аналогично, восстановленная популяция какого-либо вида животных или растений неизбежно отличается от исходной по развитию демовой инфраструктуры, полиморфизму и другим генетическим показателям. Когда говорят о восстановлении водоемов (например, Аральского моря), то обычно имеют в виду водную массу. Однако средообразующие, рыбохозяйственные, лечебные и другие свойства определяются водной экосистемой, утрата которой фактически носит необратимый характер. Частично восстановимы лишь некоторые ресурсные свойства, нередко за счет других свойств (например, продуктивность леса за счет биоразнообразия и соответствующих лесных промыслов). Эти соображения еще раз подчеркивают необходимость сохранения первичных ресурсов как полифункциональных, имеющих многоцелевое назначение.

Полифункциональность. Кажущийся конфликт между охраной природы и природопользованием при ближайшем рассмотрении сводится к противоречию между разными видами использования, например, экономическим и рекреационным. Разрешение конфликта зависит от множества экономиче-

ских и социальных факторов, которые сдвигают соотношение видов пользования в ту или другую сторону, нередко обратимо (конфликт чеховского «Вишневого сада», если отвлечься от его символики, сводится к смене эстетической функции энергетической — сад пойдет на дрова — в связи с разложением дворянства и развитием капиталистических отношений; уничтожение крымских виноградников в 80-е годы означало преобладание воспитательной функции над экономической).

На фоне такого рода колебаний проявляются тенденции, хорошо изученные на биологических системах: расширение спектра функций и смена главной функции. Так древесный уголь утратил топливное значение и теперь применяется главным образом в качестве адсорбента.

Именно смена функций способствует сохранению ресурса, поскольку она в общем случае направлена от более расточительного вида пользования к относительно экономному. Наряду с этим в ходе органической и технической эволюции систематически осуществляется переход функции от одного вида ресурсов к другому, как правило, менее дефицитному (типичные примеры — переход функции донора водорода от сероводорода к воде в эволюции органического синтеза, замена дерева пластмассами и т. д.).

Расширение ресурсной ниши и перенос главной функции на менее дефицитные ресурсы открывает новые эволюционные возможности и способствует прогрессивному развитию, тогда как обратные процессы ограничивают способность к дальнейшей эволюции. Мы, таким образом, получаем эволюционный критерий оценки технологических тенденций. В частности, состоявшийся в середине 20 в. перенос функции главного энергоносителя на нефть привел к существенному сужению ресурсной ниши, так как практически прекратилось использование ряда источников энергии, в том числе игравшего столь важную роль в прошлом ветрового. Последствия проявились в форме энергетического кризиса 70-х. Развитие атомной энергетики, как альтернативы горючим ископаемым, не говоря уже о радиационном риске, означает привлечение еще более дефицитных минеральных ресурсов, к тому же требующих для своего использования огромных энергетических затрат. Эти противоестественные тенденции связаны с милитаризацией экономики — процессом, направленным не на сохранение, а на уничтожение жизни и деформирующим всю систему производственных отношений. Нефтяная специализация возникла в результате второй мировой войны, а атомная энергетика — в ходе послевоенной гонки ядерных вооружений. В бывшем СССР на военные цели, по косвенным данным, расходовалось около половины производимой энергии. Такое состояние экономики неизбежно по-

рождает противоестественные тенденции в использовании ресурсов.

Выход из энергетического кризиса возможен лишь при условии расширения ресурсной ниши за счет «нетрадиционных» источников, практически неисчерпаемых (см. выше).

Заменимость. Биологические ресурсы большей частью попадают в категорию заменимых благодаря их исключительно высокому разнообразию (мы используем в материальном производстве около 7 тыс. видов высших растений; вероятно, каждому из них можно найти хотя бы частичную замену среди остальных 300 тыс.). Вместе с тем существует небольшое число абсолютно незаменимых ресурсов. Сама природа, а точнее эволюционная предыстория человека, позаботилась о том, чтобы они были в достаточном количестве (иначе зависимость от них была бы серьезным препятствием на пути эволюционного прогресса). Однако сверхэксплуатация подводит их к роковой черте. Это в первую очередь питьевая вода, которую в индустриальных регионах (например, Московском) приходится добывать из все более глубоких горизонтов. Пополнение запасов за счет опреснения, растопления айсбергов, водосберегающих свойств леса, искусственно вызванных осадков имеет не более чем локальное значение. В Израиле, где проблема водоснабжения обострилась в связи с притоком населения, из всех возможных вариантов экономически и социально наиболее приемлемой признана рециркуляционная система многократного использования. Такой же подход, по-видимому, наиболее перспективен и в отношении других незаменимых ресурсов. Тем не менее в перспективе проблема их истощения может быть решена только на демографическом уровне.

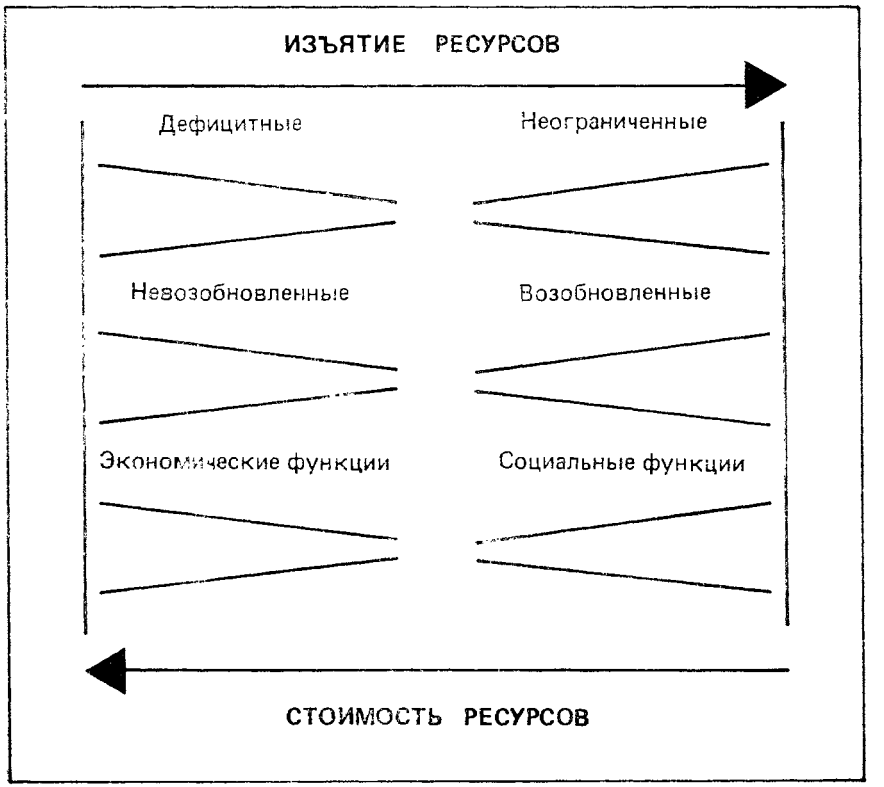
Стоимость. Может показаться удивительным, что способность к переходу на новые ресурсы — природная или технологическая — появляется как раз в тот исторический момент, когда прежние близки к истощению. В действительности здесь нет ничего загадочного, так как сам переход требует значительных усилий (на генетическую или технологическую перестройку) и осуществляется лишь в силу крайней необходимости. Момент перехода, по-видимому, соответствует приблизительному равенству затрат на использование прежнего ресурса, который становится все более дефицитным (затраты растут) и освоение нового (затраты сокращаются в ходе предварительных попыток). В этом случае переход может быть ускорен с помощью соответствующей политики ценообразования.

Цена ресурса определяется экономической и социальной коньюнктурой, в которой не последнюю роль играют идеологические и психологические факторы. В сущности только последние определяют цену редкого вида растений или животных, не

находящего иного ресурсного применения, кроме этического и эстетического. Такой вид стоит столько, сколько общество согласно платить за его сохранение (можно с полным правом утверждать, что каждый биологический вид бесценен как уникальное творение природы; однако мы в данном случае говорим о виде как ресурсе, и его стоимость растет вместе с экологической озабоченностью).

Стоимость биологических ресурсов, используемых в материальном производстве и медицине, также зависит от этических установок и социальной психологии. Цена на махогониевое дерево или слоновую кость может внезапно упасть до нуля, если общество единодушно признает их использование аморальным. В данном случае можно говорить о предельной остроте конфликта между различными аспектами ресурса, один из которых — этический — анулирует остальные.

Схема прогрессивного развития ресурсной ниши (пояснения в тексте).



Модель ресурса — это совокупность связей между выделенными выше свойствами и воздействующими на них факторами природной и социальной среды. Связи между моделями отдельных ресурсов отражают структуру региональной ресурсной ниши.

Формализованная таким образом стратегия природопользования выглядит как формирование структуры ресурсной ниши, а управление ресурсами — как осуществление этой стратегии с помощью управляющих воздействий на параметры ресурсных моделей.

Поскольку речь идет о динамических параметрах, то для действенного управления необходимо систематической отслеживание их состояния — мониторинг ресурсов. Сами управляющие воздействия обычно сводятся к системе норм и регламентов, а также — отнюдь не в последнюю очередь—к политике ценообразования.

Традиционная политики цен в области природных ресурсов, наверное, поразила бы нас своей парадоксальностью, если бы она не была такой привычной. Необходимые и незаменимые ресурсы (свет, вода, воздух), как правило, имеют самую низкую цену, а не имеющие жизненного значения и легко заменимые — самую высокую. В результате возникает сверхэксплуатация как первых (потому что их дешевизна допускает расточительность), так и вторых (потому что они настолько дороги, что сулят легкую наживу). Стратегия устайчивого природопользования предполагает такое воздействие на ценообразование, которое способствовало бы сохранению ресурсов, поощряя рост их разнообразия (увеличение структурной сложности ресурсной ниши), неистощительность изъятия (репарацию структуры), уменьшение конфликтности различных аспектов и смещение главного пользования в сторону менее дефицитных компонентов (прогрессивную эволюцию ресурсной ниши).

ЗАГРЯЗНЕНИЕ

Загрязнение может рассматриваться как размещение бытовых и производственных отходов в среде обитания и в самой человеческой популяции, выступающей в данном случае в качестве депозитного ресурса. В организм человека загрязнения поступают по трофическим цепям, которые он замыкает в качестве конечного звена. Такова плата за господство над природой.

Экологические исследования показывают, что около 10% биологической продукции каждого трофического уровня может быть потреблено без нарушения структуры экосистемы. Человек потребляет около 3% продукции биосферы в качестве сырьевых ресурсов и — косвенно — до 40% в качестве депозитных ресур-

сов*. Для устойчивого существования суммарное загрязнение должно быть снижено по меньшей мере на 33%. Если удастся превысить эту цифру, то в принципе можно на столько же увеличить прямое потребление.

Суммарное загрязнение включает физические (тепловые шумовые, электромагнитные, радиационные воздействия), химические и биологические поллютанты, поступающие с производственными и бытовыми выбросами, стоками, твердыми отходами и в общем случае вычисляется как сумма К превышаний ПДК по n поллютантам:

$$P = \sum_{i=1}^{n} K_i$$

Наибольшую озабоченность, естественно, вызывают загрязнения, провоцирующие те или иные заболевания человека. Именно с ними чаще всего ассоциируется представление об экологической опасности и риске, а в массовом сознании — об «экологических проблемах» в целом. Превентивные меры сводятся к нормированию концентраций опасных поллютантов в выбросах и стоках или расположения источников загрязнения (АЭС, ЛЭП и др.) относительно жилых массивов или детских учреждений. Методы ранжирования поллютантов по классам опасности и определения показателей загрязнения изложены в специальной литературе. Вместе с тем остаются нерешенные проблемы, связанные с 1) зависимостью эффекта конкретного поллютанта от других воздействий и поллютной среды в целом, 2) дозовыми эффектами, 3) большими генотипическими различиями по чувствительности к воздействиям загрязнений, 4) большими различиями в чувствительности между человеком и другими компонентами экосистем и 5) эффектом долгодействия.

Вопроса о поллютной среде (или «поллютном климате») мы уже касались в предыдущем разделе в связи с образованием вторичных поллютантов в результате фотохимических реакций. Дозовый эффект зависит как от поллютной среды, так и от индивидуальной чувствительности. Кроме того, ряд генотоксичных и цитотоксичных поллютантов вообще не обнаруживают дозового эффекта (или его не удается однозначно определить, как в случае фторирования зубных паст). Генотипические различия по чувствительности к поллютогенным факторам служат материалом для естественного отбора (у человека проявляющегося главным образом в форме бесплодия, перинатальной и ранней неонатальной смертности). С этим фактором, возможно, связаны

* Wilson E. O. (ed.) Biodiversity. Washington, Acad. Press, 1988.

региональные различия в воздействии загрязнений (более слабом в староосвоенных индустриальных районах, население которых подвергалось поллютогенному отбору в ряду поколений).

Известно немало случаев, когда многократное превышение предельно допустимых концентраций не давало ощутимого эффекта, как и случаев, когда воздействия в пределах установленных норм оказывались катастрофическими. В уже приводившихся примерах дифференциальной заболеваемости лейкемией в окрестностях АЭС, работающих в пределах официально утвержденных норм, по-видимому, проявляются совместные эффекты поллютной среды, долгодействия, генетических различий и иммунного статуса населения.

В целом здоровье людей зависит не только и не столько от дозы отдельных поллютантов, сколько от состояния фоновых экосистем, их способности амортизировать или усиливать воздействия на человека. Во многих случаях загрязнение запускает цепную реакцию, результат которой по своим последствиям неадекватен воздействию, служащему лишь пусковым механизмом (триггером). К типичным триггерам относятся хлорфторуглероды (выбросы которых при содержании в атмосфере около 3 ppb ощутимого непосредственного воздействия на человека не оказывают) в силу их парникового эффекта и как источники хлора, разрушающего стратосферный озон. Парниковый эффект CO_2 также привлекает внимание главным образом как триггер процессов, которые могут привести к неблагоприятному перераспределению атмосферных осадков и повышению уровня мирового океана.

Социальные последствия загрязнений также имеют прогрессирующий цепной характер. Тетраэтилсвинец в транспортных выбросах, фтор, пестициды, радиация вызывают задержку умственного развития детей, которая впоследствии отразится в решениях, ведущих к дальнейшему ухудшению ситуации. Постоянная нехватка средств для обеспечения экологической безопасности при гигантских затратах на вооружение и политические игры отчасти может быть связана с действием этого механизма. Таким образом, среди свойств, учитываемых в рейтинге и нормировании поллютантов, решающее значение имеют следующие показатели.

Синергизм — способность усиливать эффект при совместном действии различных поллютантов.

Триггерность — способность запускать цепные процессы, результаты которых несопоставимы по масштабам с начальным воздействием.

Устойчивость—способность долгое время сохраняться (накапливаться) в среде воздействия (этот параметр имеет решающее значение для пестицидов и хлорфторуглеродов, среди

которых предпочтение отдается менее устойчивым разновидностям).

Ксенность — чужеродность поллютанта по отношению к системе, в которую он попадает (как в случае ксенобиотиков).

Последний параметр в конечном счете определяет характер взаимодействия между поллютантом и экосистемой. Чем выше ксенность, тем более вероятна отрицательная обратная связь. И наоборот, в случае воздействий малой ксенности более правдоподобно возникновение положительной обратной связи. В случае техногенной CO_2 негативные последствия могут быть в принципе уравновешены или даже превышены положительным эффектом от увеличения продуктивности агроценозов, которые при избытке CO_2 потребуют меньше воды.

Стратегия борьбы с загрязнениями (управление поллютной средой) предполагает существование имитационных моделей нескольких типов. Модель поллютанта показывает связь между его свойствами и факторами, контролирующими их проявление. Такие модели необходимы для мониторинга поллютанта на всем пути его следования от источника загрязнения до конечной мишени (которой чаще всего служит человеческий организм).

Модель воздействия (например, CO_2 приведенная в предыдущем разделе) представляет собой схематизированное воспроизведение системы прямых и обратных связей между поллютантом, его средой, промежуточными и конечными рецепторами, или мишенями. Она позволяет прогнозировать эволюцию системы воздействий в результате изменения концентрации поллютанта (в случае CO_2 — парниковый эффект, увеличение продуктивности наземной растительности и фитопланктона, химическое выветривание карбонатных и силикатных пород и т. д.) или — в порядке обратной связи — состояния какой-либо из мишеней (повышение температуры океанических вод — уменьшение растворимости CO_2).

Модель риска воспроизводит источники поллютанта в соответствии с их вкладом и определяет порядок действий по снижению загрязнения. Например, вклад различных источников в суммарные выбросы CO_2 в Японии составлял:

	1973 г. (%)	1990 г. (%)
Промышленность	60,2	49,5
Бытовые источники	18,0	23,2
Транспорт	13,0	20,0
Другие источники	8,8	8,3

После нефтяного кризиса в этой стране последовательно проводилась политика снижения энергоемкости производств и уменьшения потребления нефти, которая привела к значительному снижению промышленных выбросов при неуклонном росте производства. Были приняты жесткие регламенты в отношении автомобильных выбросов, позволившие снизить концентрацию как CO_2, так и NO_x. Однако в последние годы загрязнение снова растет за счет бытовых источников и грузового транспорта (поскольку ограничения для дизельного топлива менее жесткие). Выяснилось еще одно немаловажное обстоятельство: ни контроль, ни более эффективные двигатели не дадут снижения транспортных выбросов, если не будет радикально улучшена дорожная сеть. Этот пример показывает возможность регуляции загрязнений путем воздействия на косвенные факторы.

Поскольку техногенные поллютанты — это отходы, то предупреждение загрязнений сводится к повышению эффективности использования ресурсов.

В типичном случае регуляция загрязнения достигается двумя способами — воздействием на источник или на мишень. Если источник — производственный процесс, то регуляция возможна на входе (требования к ресурсам), последующих технологических стадиях и выходе (требования к продукции и отходам). Традиционная очистка на выходе малоэффективна, и задача управления заключается в смещении ее на более ранние стадии.

Мишень — компонент природной экосистемы или человек — может регулироваться с помощью специальных защитных или профилактических мероприятий. В перспективе оптимальным решением будет перевод негативной реакции среды в позитивную. Например, сельскохозяйственные загрязнения, содержащие нитраты и фосфор, эвтрофируют водоемы, до известного предела не столько нарушая, сколько ускоряя их естественное развитие. Вхождение в гипертрофную фазу можно предотвратить, периодически извлекая избыточную биомассу. Так был разработан метод очистки Амурского залива в Приморье с помощью санитарной марикультуры — водорослевых плантаций, потребляющих избыточные питательные вещества (и сообществ беспозвоночных, потребляющих отходы самих плантаций), продукция которых должна была послужить сырьем для производства альгинатов, используемых как энтеросорбенты в профилактике лучевой болезни. Подобные примеры демонстрируют возможность включения в цепь природных процессов, не разрывая ее.

Профилактика воздействий на человека, в особенности генотоксичных, должна проводиться не только в отношении непосредственных эффектов, но и для предотвращения поллютогенного отбора. Сейчас это практически невозможно, поскольку

группы повышенного риска выделяются по профессиональным, а не генотипическим признакам.

ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ

В средние века можно было привлечь к суду корову или мышь. Современные законы регулируют исключительно отношения между людьми, в частности, отношения в сфере охраны природопользования.

Разнообразие правовых отношений и специфика деятельности законодетельных органов (которые в течение сессии могут рассмотреть проект ограниченного объема) не позволяют охватить всю природоохранную сферу одним законом. Нормальная процедура заключается в принятии основ законодательства, содержащих принципиальные положения и дающих канву для разработки законов прямого действия. Чтобы получить представление о всем пакете таких законов, можно составить таблицу, записывая по вертикали виды деятельности (земледелие, животноводство, охота, рыболовство, рекреация и т. д.), по горизонтали—природные объекты и системы (земля, почвы, поверхностные воды, леса и т. д.) и отмечая соответствующие воздействия. Большое число заполненных клеток в строке указывает на первоочередность правового регулирования. На практике, однако, законы возникают ситуационно, по мере необходимости или в результате случайного стечения обстоятельств. В США, например, существуют законы об управлении лесами, о береговой зоне, чистых водах и недавно принятые о находящихся под угрозой видах и чистом воздухе, но нет рамочного закона. Примерно такая же ситуация сложилась в СССР, тогда как Россия приняла рамочный закон «Об охране окружающей природной среды» в качестве первого природоохранного акта после политической реформы 1991 г.

Необходимость в законе

Закон защищает государство и граждан от возможного ущерба. В то же время применение закона само по себе связано с определенными затратами (ущербом). Логически закон может быть принят, если предотвращение ущерба существенно превысит ущерб от его действия. Поэтому законодательная деятельность предполагает экономические расчеты.

Однако законы защищают не только экономические интересы, но и честь, достоинство, справедливость, другие этические категории от морального ущерба в результате действий государства или отдельных граждан. Моральные стимулы могут и в

цивилизованном обществе должны преобладать над материальными. Это относится и к природоохранному законодательству. Закон не охраняет природу (среду), которая не имеет юридических прав. Как экономические, так и моральные аспекты правовой деятельности относятся только к людям и социальным образованиям. Иначе говоря, закон охраняет государство и граждан от морального ущерба, причиняемого им расточительным отношением к природным богатствам или жестоким обращением с животными. Под правами животных подразумевается право человека защищать жизненные интересы животных в соответствии со своими убеждениями.

Когда речь идет о приоритетах, нередко раздаются призывы защитить в первую очередь права человека, а потом уже подумать о природе. В них содержится очевидная логическая ошибка: любой закон защищает права человека и ничто другое. Вопрос лишь в том, какие права общество считает необходимым защищать и каковы правовые приоритеты. Последние определяют содержание всего закона, хотя в эксплицитной форме они могут быть кратко изложены в первых статьях.

Большие разногласия обычно вызывает принцип приоритета охраны природы (природной среды) или экологической безопасности. В общем случае приоритетность зависит от вклада в качество жизни, которое определяется совокупностью экологических, экономических и социальных факторов. Их относительное значение зависит от состояния общества. Утверждение приоритета экологических интересов, содержащих высомый этический компонент, свидетельствует о высоком уровне развития общественной морали.

По существу закон делает обязательными отношения, сложившиеся в обществе, признанные справедливыми с точки зрения общепринятой морали. Закон, не опирающийся на этические установки своего времени, практически бесполезен. Поскольку этические установки изменяются вместе с социальным развитием, закон нуждается в периодической корректировке.

Сфера закона

Запись в законе: «охране подлежит [среди прочего] озоновый слой атмосферы»* может привести к недоразумениям, поскольку тропосферный озон относится к категории загрязнений, отнюдь не требующих охраны, тогда как для охраны стратосферного озона необходима технологическая перестройка, к которой общество может быть еще не готово. Во всяком случае

* Закон об охране окружающей природной среды, 1992.

она затрагивает обширную область экономических и политических интересов.

Этот пример показывает, что должны быть точно определены сфера применения—отношения, которые непосредственно регулируются законом, и сфера воздействия—отношения, на которые закон оказывает косвенное влияние. Закон об охране среды регулирует бытовые и производственные отношения, которые могут быть причиной загрязнения (в частности, приземного воздуха озоном и стратосферы веществами, разрушающими озон). Сфера его воздействия выходит за государственные границы и определяется Венской конвенций 1985 г., Монреальским протоколом 1987 г. и другими международными договорами.

Могут возникнуть неожиданные осложнения, если, говоря о животном мире, законодатель имеет в виду главным образом «харизматические» виды крупных животных. В определении сферы закона необходимо участие, наряду с юристами, научных экспертов.

Структура закона

Структура закона отражает систему отношений между его субъектом—лицом, осуществляющим при помощи закона свои права и обязанности, и объектом — лицом, несущим ответственность (конкретно — истцом и ответчиком), включая отношения собственности, распоряжения и управления.

Субъект — объектные отношения должны быть определены применительно к каждому случаю, поскольку одно и то же лицо может выступать в качестве субъекта в одной ситуации и объекта — в другой. Отношения развиваются по принципу управления с обратной связью, однако смысл закона заключается в том, чтобы исключить отрицательную обратную связь. Иначе говоря, субъект не должен быть поставлен в зависимость от объекта. Конкретно это выражается во взаимоотношениях контрольных и исполнительных органов. Контрольный орган по логике субъект-объектных отношений неподотчетен тем лицам, в отношении которых он осуществляет контроль. Этот принцип должен быть последовательно проведен на всех уровнях.

Между тем все еще широко практикуется подчинение контрольных органов исполнительным, которое практически исключает возможность пресечения злоупотреблений со стороны властей. По опыту можно утверждать, что функционирование государственного органа охраны природы (природной среды), в составе правительственных структур малоэффективно, а зависимость его региональных подразделений от местной исполнительной власти практически парализует их деятельность. Ви-

димо заслуживает внимания вариант непосредственного подчинения государственного природоохранного органа законодательной власти на федеральном, республиканском, региональном и местном уровнях.

Аналогично может решаться вопрос об экспертизе и экологических фондах, которым также необходимо обеспечить независимость от возможного давления властей, заинтересованных в поддержке тех или иных природопользователей.

Акцент на исполнительную власть как основного проводника природоохранной стратегии и гаранта прав граждан в этой сфере восходит к тем временам, когда властные структуры считались непогрешимыми, а гражданам полагалось постоянно благодарить их за заботу о своих интересах. В СССР практически бесконтрольные действия властей поставили страну на грань экологического кризиса.

Структурная схема закона (пояснения в тексте).

Правовое государство отличается от тоталитарного в первую очередь тем, что граждане имеют реальную возможность осуществлять контроль над действиями органов власти с помощью независимых судебных органов. К сожалению, ни в одном из подготовленных в переходный период природоохранных законов нет статьи, определяющей компентенции суда.

Не лучше обстоит дело с правами граждан, которые, если не говорить о декоративном праве на «благоприятную окружающую среду», ограничиваются правом «участвовать» (в организации особо охраняемых природных территорий, в охране животного мира и т. д.), а также «жаловаться». Более существенно право привлечения к суду любого нарушителя природоохранного законодательства, включая органы власти, специально уполномоченные органы экологического контроля и любых должностных лиц вплоть до президента.

В новых общественных отношениях возникает необходимость однозначно определить субъект собственности и распоряжения. Если природа признается национальным достоянием, то в качестве субъекта собственности выступает народ в лице представительной власти, тогда как распоряжение передается правительству. Последнее может сохранить за собой распоряжение и в том случае, если та или иная часть природного достояния передается в собственность конкретному лицу, предусмотрев возможность частичного или полного лишения прав собственности с соответствующей компенсацией.

Компенсационная ответственность

Осуществление права на компенсацию ущерба здоровью и имуществу граждан сопряжено с большими трудностями, так как далеко не всегда удается определить конкретного виновника ущерба. Поэтому в кодексах ряда стран и международном праве появилось понятие компенсационной ответственности, дополнительное к общей ответственности, основанной на концепции вины. Дело в том, что в современных условиях соблюдение природоохранных норм не может исключить возможность ущерба, в котором формально никто не повинен, так как все правила были соблюдены (если в случае чернобыльской аварии шла речь об ошибках конкретных лиц, то «аномальная ситуация» на Ленинградской АЭС в марте 1992 г. возникла в результате конструктивных дефектов, о которых ранее никто не подозревал). Компенсационная ответственность предполагает возмещение ущерба, независимо от доказательства вины и, таким образом, поиски виновного становятся уже делом ответчика, а не истца. Компенсационная ответственность должна быть обеспечена соответствующим страхованием.

Общественные функции закона

На примере законов переходного времени хорошо виден обоюдный характер связи между эволюцией общественных отношений и законодательной деятельностью, которая, отражая общественные процессы, в то же время подталкивает их в определенном направлении. Отношение к природе настолько точно характеризует состояние общества, что по продвинутости природоохранного законодательства вполне можно судить, насколько мы приблизились к идеалу правового государства.

Предоставляя гражданам возможность активно участвовать в деле охраны природы, закон служит инструментом экологического воспитания. В то же время отношение к природоохранным законам — не только показатель общей культуры, но и критерий оценки профессионализма и компетентности управленческих структур. Природоохранное законодательство мощно вторгается в сферу экономики, но было бы непростительной близорукостью видеть в нем лишь систему запретов и ограничений, сдерживающую экономический рост. Экономические функции природоохранного закона весьма разнообразны. Регулируя механизм платежей за пользование природными ресурсами, налоговых льгот, кредитов и штрафных санкций, закон воздействует на ценообразование и ресурсную политику.

Иными словами, общественная роль закона не сводится к регулированию специфических отношений. Эффективность законодательной деятельности зависит от понимания сложных механизмов включения закона в различные подсистемы общественных отношений в качестве их функционального элемента.

НОРМИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Противоречие между техносферой и биосферой порождает различные виды экологической опасности (риска для тех или иных видов деятельности) — возможности ущерба природе и человеку. Оценка и ограничение риска основываются на нормах воздействий, которые разрабатываются в отношении человека (санитарно-гигиенические нормы, предельно допустимые концентрации вредных веществ в стоках и выбросах) и природных систем (экологические нормы изъятия ресурсов и загрязнения). Ежегодно разрабатывается около 30 санитарно-гигиенических и 15 водохозяйственных (рыбохозяйственных) норм, общее же их число уже достигает соответственно 1300 и 600. Вместе с тем известно около 8000 химических поллютантов, которые действуют не изолированно, а в разнообразных сочетаниях, вступая в синергические отношения дополнительности или антагонизма.

Помимо разнообразия поллютантов, которое постоянно возра-

стает, опережая разработку норм, в связи с нормированием возникают следующие проблемы.

Дозовый эффект. Концепция ПДК предполагает универсальность дозового эффекта (отсюда практика разбавления стоков), который не обнаруживается в отношении ряда вредных веществ, в том числе гено(цито) токсичных. Существующие методы также недостаточны для выявления эффекта долгодействия.

Организменный подход. Риск определяется в отношении организма. На уровне популяции факторы риска включают долгодействие и естественный отбор, которые могут проявиться и при соблюдении норм, рассчитанных на безопасность индивидуального существования.

Антропоцентризм. Нормирование воздействия на человека не гарантирует сохранения природной среды, в которой воздействия в пределах санитарно-гигиенических норм могут вызвать цепную реакцию с последствиями, неблагоприятными для дальнейших поколений людей.

Эти соображения показывают необходимость иного подхода—нормирования поллютной среды или системы воздействий в целом, включающей разнообразные поллютанты, мишени и человека как одну из них.

Нормирование поллютной среды

Оценка и нормирование поллютной среды как системы сопряжены с определенными методическими трудностями. Наиболее рациональный путь, по-видимому, заключается в выборе одного или немногих ключевых поллютантов, которые в силу системных связей характеризуют среду в целом или большие группы загрязнений. Например, в группе кислотообразующих и связанных с ними веществ можно выбрать озон как вторичный поллютант, образование которого в результате фотохимических реакций зависит от многих компонентов, включая окислы азота, органические примеси, сульфатные аэрозоли, пыль, анион гидроксила и т. д. Если установлена поллютная норма для озона, то следующий шаг заключается в разработке модели анализа риска (см. предыдущий раздел) и оценке вклада различных факторов, которая служит основой для регулирования, т. е. показывает, за счет чего можно в принципе сократить концентрацию озона, оставляя возможность принятия решения в зависимости от конкретных обстоятельств (пусть вклад двуокиси азота условно оценен в десять баллов, метана — три балла и аэрозолей — два балла; тогда можно выбирать, например, между сокращением выбросов ТЭЦ или озеленением для уменьшения запыленности).

Нормирование мишени

Так как эффект воздействия в любом случае зависит от состояния мишени, то представляется логичным исходить из последнего. На пути своего следования поллютант может воздействовать на различные компоненты природно-антропогенных систем или включить цепной процесс, который приведет к изменению системы в целом. Цепь не прочнее, чем ее самое слабое звено, которое может служить показателем воздействий. На этом принципе основан биоиндикаторный подход, хотя на практике в роли индикаторов выступают как наиболее чувствительные, так и наиболее устойчивые к загрязнению компоненты. Например, в нормировании состояния поверхностных вод используются индексы сапробности — относительной встречаемости устойчивых к загрязнению видов водорослей, позволяющие выйти на количественные или полуколичественные оценки*.

Системный подход заключается в нормативном регулировании воздействий, нарушающих устойчивость развития и функционирования природно-антропогенных систем. Принципиальное преимущество системного подхода заключается в том, что сохраняя систему, мы обеспечиваем сохранение ее компонентов. В то же время речь идет о нестационарных системах с собственной программой развития. Поэтому эффект воздействий следует оценивать относительно нормального развития, а не стационарных состояний.

В отношении природных экосистем общие закономерности (программа) развития выражаются в автогенетической сукцессии — смене пионерных стадий сукцессионными и климаксной. Устойчивость этого процесса на фоне разнообразных воздействий определяется гомеостатическими свойствами системы — буферностью (способностью амортизировать воздействие) и упругостью (способностью восстанавливать нарушенную структуру, которая в свою очередь обеспечивается дублированием компонентов и репарационными механизмами). Воздействия, нарушающие гомеостаз системы, выражаются в увеличении или сокращении (снятии пиков) амплитуды автогенетических колебаний; ускорении, замедлении (задержке) или отклонении (вплоть до ретроградного развития) сукцессионного процесса. Мерой воздействия может служить деформация траекторий параметров, направленно изменяющихся в ходе сукцессии: разнообразия, биомассы, продуктивности, мортмассы, индекса трофической пирамиды и других**. Например, эвтрофирующие

* Унифицированные методы определения качества вод.— М.: СЭВ, 1977.
** Оценка состояния и устойчивости экосистем.— М.: Ин-т охраны природы и заповедного дела, 1992.

воздействия ускоряют сукцессию водных экосистем, а изъятие биомассы или загрязнение тяжелыми металлами может обратить ее вспять — вернуть на пионерную стадию с ретроградным изменением основных параметров (к техногенным системам принципиальный подход тот же, поскольку они подчиняются общим закономерностям развития, вытекающим из начал термодинамики).

Человек чаще всего не принадлежит к числу наиболее чувствительных компонентов, но с системных позиций заслуживает внимания как конечная мишень многих загрязнений. В качестве обобщенных показателей состояния человеческой популяции выступают средняя продолжительность жизни, суммарная заболеваемость, иммунный статус, перинатальная патология и т. д. Для генотоксичных загрязнений, вероятно, показательна средняя скорость мутирования на один локус, которая может быть определена непосредственно или путем экстраполяции данных по модельным организмам.

Нормальное состояние

Для тех, кого беспокоит моральная сторона нормирования человека, замечу, что поллютная норма — компромисс между желаемым и технически возможным — не имеет отношения к этическим нормам. Аналогично статистическая норма априори никак не соотноситься с желательным состоянием. Однако статистическая норма формируется и поддерживается естественным отбором, повышающим приспособленность организма к среде обитания или, в другом ракурсе, эффективность взаимодействия компонентов системы. Поэтому есть своя логика в признании нормального естественного состояния этически наиболее предпочтительным.

Нормальное состояние как точка отсчета при оценке воздействий — это чаще всего среднестатистическое значение параметра («фон» в медико-экологических оценках). Кроме того, могут учитываться:

ретроспективная норма — состояние, которое предшествовало воздействию (если оно поддается оценке);

аналоговая норма — состояние близких по основным параметрам ненарушенных систем (например, особо охраняемых экосистем и ландшафтов — основной способ определения нормального состояния в оценке природной среды);

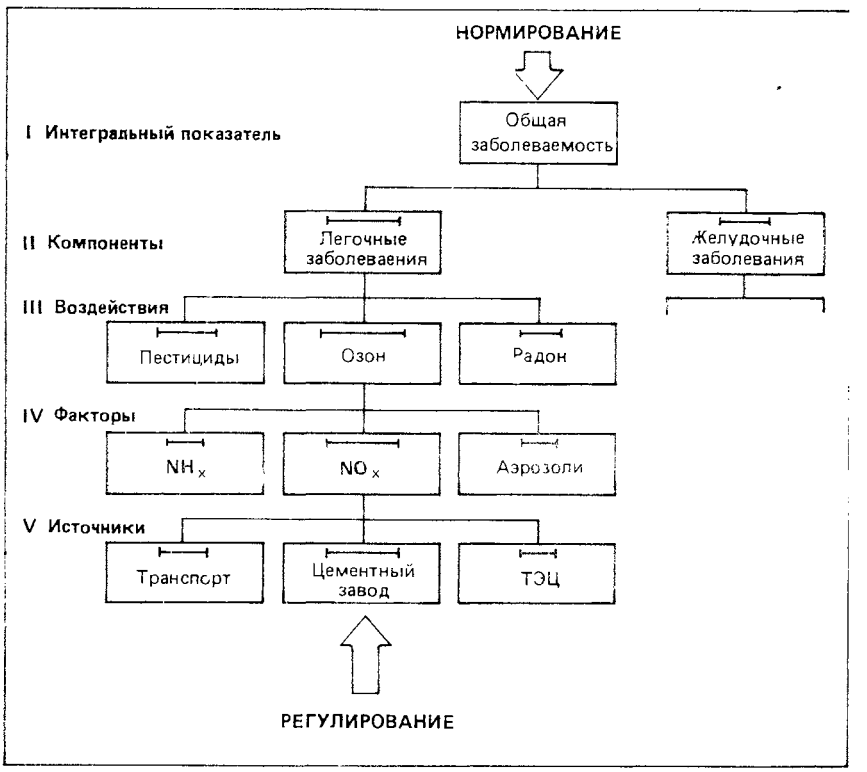
теоретическая норма — состояние, прогнозируемое на основании общих закономерностей развития систем (см. выше).

Последняя предпочтительна по принципиальным соображениям, но не всегда применима на практике.

Регулирование

Регулирование на основе большого числа норм, относящихся исключительно к источникам загрязнения (ПДК), не гарантирует общего снижения риска — безопасности поллютной среды. Альтернативный подход, изложенный выше, заключается в принятии небольшего числа стандартных нром, относящихся к основным мишеням (включая человека), которые дополняются требованиями, возникающими ситуационно в процессе разработки и реализации программы обеспечения экологической безопасности. Нормирование, таким образом, становится более целенаправленным и в то же время гибким, ориентированным на региональные задачи и возможности. Это непрерывный процесс, включающий в качестве необходимого компонента мониторинг мишени.

Схема нормирования в стиле анализа риска (см. с. 139). Для регулирования выбирается фактор пятого уровня, который с наибольшей вероятностью (длина горизонтального отрезка) дает приближение к норме по показателю первого уровня.



Чтобы разработать районную схему регуляции загрязнений может понадобиться лишь одна норма, относящаяся к интегральному показателю очень высокого уровня, например, к суммарному показателю заболеваемости (который вычисляется как отношение числа зарегистрированных заболеваний за год к числу постоянных жителей). Суммарная заболеваемость зависит от большого числа факторов, в которое, кроме загрязнений, входят организация здравоохранения, жизненный уклад и другие.

Второй уровень — структура заболеваемости — показывает, что превышение нормы (фонового уровня) по суммарному показателю на 10 баллов происходит главным образом за счет легочных и желудочных заболеваний, удельный вес которых (число заболеваний этих видов в процентах от общей заболеваемости) составлял соответственно 15 и 20%. Уже одно это свидетельствует о неблагополучной поллютной обстановке.

Третий уровень — структура загрязнений — позволяет выбрать озон и пестициды в качестве приоритетных поллютантов, вносящих наибольший вклад в этиологию легочных и желудочных заболеваний.

Четвертый уровень образует система источников загрязнений. В случае озона, как мы уже упоминали, взаимодействие выбросов из различных источников создает благоприятную среду для вторичного загрязнения воздуха. Исследуя структуру этого комплекса — пятый уровень—мы выходим на объект, который должен быть полностью или сезонно исключен из системы производства или подвергнут регулированию с помощью административных санкций и экономических мер, хотя его выбросы может быть и находятся в пределах стандартной нормы. Актуальная норма зависит от климатических условий и «поллютного климата», может регулироваться в соответствии с циклами солнечной активности.

Полезно сопоставить альтернативные схемы и выбрать наиболее экономную, позволяющую достичь желаемого эффекта на первом уровне с помощью минимального числа регулирующих воздействий на последнем.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ СТИМУЛЫ

Когда в программах развития указывается, например, десятипроцентное сокращение выбросов двуокиси серы к такому-то году, то имеются в виду лучшие технологии, которые реально позволяют это сделать. Но будут ли они внедрены к намеченному сроку? Доподлинно известно, что можно тратить гораздо меньше энергии, воды и других ресурсов, можно использовать

отходы вместо того, чтобы загрязнять ими среду. Почему же мы не делаем всего этого?

Ключевой фактор здесь — соотношение затрат на внедрение новой технологии (включая затраты на переобучение персонала, моральный ущерб от замены работников с большим стажем новыми людьми, преодоление психологического неприятия новых форм работы) и ущерба, как материального, так и морального, от сохранения старой. Поскольку перестройка производства — дело во всех отношениях весьма затратное. маловероятно, чтобы кто-то решился на нее из благих побуждений или страха наказания. Более эффективные стимулы — убыточность или недостаточная конкурентоспособность производства, не отвечающего экологическим требованиям. Однако для возникновения подобных стимулов необходима благоприятная экономическая среда.

Эколого-экономическая система

Практически все развитые страны прошли путь от штрафов к продаже квот загрязнения как форме экономического стимулирования охраны среды. В США согласно закону о чистом воздухе (1990 г.). выбросы двуокиси серы к концу века должны быть сокращены на 10 млн. т по сравнению с 1980 г. Ожидаемая экономия от такого сокращения оценивается в 3 млрд. долларов. Поскольку безразлично, за счет какого из источников будут сокращены выбросы, Агентство по охране среды квотировало их и поставило распределение квот на рыночную основу в виде прямой продажи или аукциона (с некоторыми льготами для начинающих энергетических предприятий). Если предприятию удается снизить расходы на сокращение выбросов, оно может получить дополнительный доход за счет перепродажи своих квот менее эффективному предприятию.

Штрафы отражают конфликтную ситуацию между охраной природы и экономическим развитием. Переход от штрафов к позитивным формам экономического стимулирования в виде налоговых льгот, продажи лицензий и квот означает формирование новой эколого-экономической ситуации, в которой экологические требования входят в общую систему ценностей. Цели развития формулируются в терминах экономической безопасности — снижение выбросов и т. п., но вместо введения санкций против загрязнителей им предоставляется возможность продвижения к цели с наибольшей экономической выгодой. Так, Монреальский протокол, требующий замены наиболее устойчивых хлорфторуглеродов, стимулировал ускоренное развитие соответствующих технологий, поскольку лидерство в этой области сулит огромную пробыль.

Эколого-ресурсный потенциал

На региональном уровне цель развития заключается в том, чтобы сохранить и умножить эколого-ресурсный потенциал, который складывается из запасов всех видов ресурсов, включая депозитные (используемые для размещения отходов-загрязнений). Решение об использовании того или иного ресурса принимается в зависимости от его воздействия на эколого-ресурсный потенциал в целом. Например, разработка полезных ископаемых невыгодна, если доходы от их продажи за пределы региона не компенсируют сокращения сельскохозяйственных и депозитных ресурсов за счет загрязнения и ущерба здоровью людей. Система подобных оценок необходима для проведения эффективной лицензионной и кредитной политики. Выдача (продажа) лицензий и предоставление кредитов стимулируют главным образом виды деятельности, приносящие наибольшую прибыль. Однако с позиций развития эколого-ресурсного потенциала как системы они могут оказаться убыточными.

Развитие эколого-ресурсного потенциала стимулируется также политикой ценообразования, которая направляет использование ресурсов в нужное русло, регулируя себестоимость и реализацию продукции. Мы уже отмечали парадоксы ресурсной стратегии — зависимость от дефицитных ресурсов (в частности, энергетических), в то время как существуют практически неограниченные, а также низкую стоимость жизненно важных ресурсов по сравнению с такими, без которых можно легко обойтись. Конфликтность функций ресурса (например, сырьевой и рекреационной) нередко разрешается не в пользу человека. Эти и другие деформации ресурсной политики, связанные с социальными и политическими условиями (милитаризацией экономики) можно хотя бы частично исправить с помощью дифференцированных платежей за ресурсы, стимулирующих развитие ресурсосберегающих, малоотходных технологий, и налогов на добавленную стоимость, поддерживающих конкурентоспособность экологически чистой продукции. Этой же цели служит плата за загрязнение (которую не следует смешивать со штрафными санкциями за сверхнормативное загрязнение). Платность ресурсов естественно распространяется и на депозитные ресурсы, к которым — в качестве приоритетного компонента — относится и человеческая популяция.

Отмечу в этой связи, что повышение цен на экологически чистую продукцию, в особенности продукты питания, не всегда целесообразно. В странах с низкими доходами большинство населения предпочитает более дешевые продукты, даже если их экологическое качество ниже. В результате этот общественный слой подвергается дополнительным негативным воздействиям, в

том числе и генотоксического характера по сравнению с более богатыми людьми, способными заплатить за экологически чистые продукты. Цены в данном случае запускают механизм естественного отбора.

Этот пример иллюстрирует зависимость экономического стимулирования от социальной коньюнктуры. Схема развития эколого-ресурсного потенциала может быть построена по типу балансной модели, имея в затратной части ресурсные показатели, в доходной — показатели качества жизни, например:

Использование ресурсного разнообразия (отношение используемых видов ко всем видам ресурсов)	Продолжительность жизни
Использование ресурсных запасов (отношение изъятия к запасам)	Показатель здоровья (величина, обратная суммарной заболеваемости)
Ресурсосбережение (сокращение изъятия ресурсов на единицу продукции)	Потребление (валовой продукт на душу населения)
	Средний доход на душу населения

Сопоставление суммарных показателей — в условных единицах или денежных эквивалентах — для левой и правой колонок дает представление о зависимости между качеством жизни и природопользованием. Повышение показателей правой части может быть достигнуто за счет управляющих воздействий — изменения лицензионной политики, налогообложения и (или) распределения поллютных квот — на все три или одну из позиций левой части, т. е. (1) привлечения дополнительных ресурсов, (2) увеличения изъятия и (3) ресурсосбережения. Выбор оптимального решения диктуется как ресурсной ситуацией, так и социальными критериями. Например, ограничение роста населения практически исключают второй вариант, тогда как равномерность распределения доходов в качестве социального приоритета ставит под вопрос третий. Этот пример иллюстрирует зависимость экономического стимулирования от социальной коньюнктуры.

Экономические эффекты экологических требований

Экологические требования оказывают многостороннее воздействие на структуру экономики, ценообразование, международные отношения. Так, требования к выбросам кислотообразующих поллютантов изменяют соотношение видов топлива, используемых теплоэлектростанциями. Снижение выбросов CO_2 влечет за собой более радикальную перестройку структуры энер-

гетики (поскольку задача не может быть решена за счет очистки) в направлении ядерного топлива или нетрадиционных видов. Проявляется определенная заинтересованность пропонентов ядерной энергетики в форсировании решений, связанных с парниковым эффектом (аналогично крупные химические концерны могут извлечь прибыль из требований к веществам, разрушающим озон).

Жесткое природоохранное законодательство в плане международных экономических отношений приобретает протекционистский смысл (импортируемые технологии и товары не соответствуют национальным экологическим требованиям) и заставляют искать возможность размещения отходов за рубежом, в то же время повышая конкурентоспособность отечественной продукции (в этом одна из причин успеха японской продукции на внешнем рынке). Либеральные экологические нормы могут привлечь инвесторов из стран с более жесткими нормами, но в конечном счете превращает страну в ресурсный придаток как по сырьевым, так и по дипозитным ресурсам.

Если размеры платежей за использование природных ресурсов будут определяться не только их дефицитностью, но и степенью экологического риска (а это представляется вполне оправданным), то возникнут дополнительные экономические стимулы для перехода на экологически менее ущербные ресурсы («нетрадиционные» энергоносители в соотношении с ископаемым и ядерным топливом).

В случае конфликтности функций ресурса экологические требования способствуют разрешению противоречий в пользу социально более престижной функции. Так, в Кении охота полностью запрещена благодаря доходности экологического туризма. Аналогично рекреационный аспект лесопользования в ряде стран экономически предпочтительнее заготовок древесины.

В общем случае экологические стимулы смещают экономические интересы с сырьевых и депозитных аспектов природопользования на функции, не связанные с материальным производством, но необходимые для физического и духовного развития — производства самого человека как полноценной личности. Примечательно, что эти функции не ведут к истощению ресурсов, а напротив, способствуют их сохранению.

В предельном случае ресурс полностью выводится из сферы материального производства в силу его особой дефицитности, природной редкости, эстетических или познавательных достоинств. Стоимость подобных ресурсов не может быть определена на основе производственных показателей. Попытки рассчитать цену особо охраняемой территории или вида, занесенного в Красную книгу, по неиспользованным ресурсным возможностям или эволюционным «затратам» на их формирование

также несостоятельны, как оценка произведения живописи по стоимости холста, красок или по затраченному художником времени.

Вместе с тем представление о бесценности произведений искусства и природы тоже не совсем точно. Картина стоит столько, сколько почитатели таланта художника готовы заплатить за нее, руководствуясь не материально-производственными, а эстетическими критериями. Аналогично стоимость произведения природы определяется затратами, на которые общество готово пойти с целью его сохранения. Эти затраты тем больше, чем выше природоохранное сознание. Ценообразование, таким образом, обнаруживает системные связи с экологическим просвещением.

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОСВЕЩЕНИЕ

Экологические требования действенны, если они отражают сложившиеся в обществе этические нормы и в порядке обратной связи закрепляют их. Этические нормы обычно рассматриваются как продукт социального развития, но это не совсем точно. Моральный запрет на убийство унаследован нами от животных предков и носит врожденный характер. Первая заповедь и уголовный кодекс поддерживают его, а законы военного времени снимают, выводя противника за пределы морали.

У древнего человека на протяжении тысячелетий вырабатывалось нормативное отношение к природе, ставшее врожденным. Вместе с тем, среди людей существует значительная изменчивость в развитии морального чувства, и воспитание может сдвинуть норму в ту или иную сторону. У нескольких поколений воспитывалось отношение к природе как к противнику, для покорения которого все средства дозволены — в этом глубинный источник экологических бедствий. Цель экологического просвещения состоит в том, чтобы снять эту установку, возвращая природу в сферу морального чувства.

Непрерывное обучение

Если программа непрерывного экологического обучения рассчитана на людей различного возраста, то должны быть учтены существенные возрастные различия в восприимчивости к природоохранным идеям. В раннем детстве интерес к природе, как правило, чрезвычайно велик и может переходить в интенсивное влечение с парасексуальными и садистскими обертонами. Анималистские рисунки детей напоминают древние пещерные фрески с изображениями животных. Следуя правилу повторения истории рода в индивидуальном развитии, дети воспроиз-

водят отдельные черты менталитета эпохи тотемизма, когда человек был частью природы. Эти черты могут быстро угаснуть или закрепиться и оказать глубокое влияние на дальнейшее развитие личности. Все, что требуется от экологического воспитания в данном случае — это поддержать последний вариант.

Вторая фаза повышенной восприимчивости приходится на пожилой возраст, когда человек больше обеспокоен судьбой потомков, чем своей собственной. Окончание жизненного пути ассоциируется с возвратом к природе.

Средний, самый деятельный возраст наименее восприимчив к экофильным идеям как таковым, хотя нередко использует их в демагогических и карьеристских целях. Экологический карьеризм возможен лишь в обществе, серьезно озабоченном экологическими проблемами и не лишен воспитательного значения: занятие с помощью которого можно сделать карьеру, внушает уважение людям практического скалада. Для этой категории граждан наряду с экономической состоятельностью важен социальный престиж, а лучшее воспитательное средство — это последовательное проведение природоохранной политики государством (и лично главой государства), международной общественностью. Сравнивая экологическую строку государственного бюджета с оборонной, они могут убедиться в том, что экологическая озабоченность правительства носит часто декларативный характер. В этом случае никакие воспитательные контрмеры не смогут побороть их разочарования.

Воспитание действием

Экологическое воспитание людей действия должно в качестве непременного условия предоставить им возможность действовать. Запись в законе, ограничивающая права граждан лишь правом «участвовать» в мероприятиях, проводимых органами власти, и жаловаться на их упущения, сразу же сводит на нет львиную долю воспитательной работы.

Действовать — это значит заставить депутата от своего округа поддержать природоохранный закон, привлечь к суду загрязнителя, выкупить участок земли для национального парка, помочь в сборе информации для экологического мониторинга, подписаться на экологическую газету, байкотировать заправочную станцию компании, допустившей разлив нефти (как это делают американские автомобилисты), организовать акцию протеста против экологически опасных проектов и т. д.

Обеспечение эффективности этих действий входит в задачу неправительственных (негосударственных) организаций (НГО), способных привлечь к работе научных и юридических экспертов. На счету у таких НГО, как «Сьерра Клаб», США, сотни выигран-

ных процессов, сохраненных ландшафтов, заповеданных участков леса. Однако если деятельность НГО сводится к природоохранной демагогии и организации прибыльного международного туризма, то она не может претендовать на позитивную воспитательную роль.

Оппозиционность «зеленого движения» по отношению к государственному официозу сама по себе имеет определенное воспитательное значение (став частью официоза, зеленые быстро меняют окраску).

Зеленых нередко упрекают в том, что они критикуют действия властей, не предлагая позитивной программы. Обществу, однако, нонконформизм необходим как выражение независимости мышления, которое в деле охраны природы важнее, чем где-либо. Немало преступлений против природы совершалось не по злому умыслу, а в силу инерции мышления.

Системность просвещения

Системный подход означает взаимодействие различных компонентов экологического просвещения, рассчитанного на разнообразие их восприятия в зависимости от пола, возраста, психического склада, образования, религиозных и политических убеждений.

Экологическое просвещение не сводится к изготовлению диаграмм, иллюстрирующих природные процессы, в которых все взаимосвязано, перечислению бедствий, которые ждут человечество, если оно не сохранит природу, и туристским походам (хотя все это необходимо), но включает также законодательство, позицию государства и церкви, правительства и оппозиционных сил, философию, мораль, общее состояние культуры.

Приобщение к охране природы может начаться с чтения проповедей Св. Франциска Ассизского, созерцания пейзажей или посещения зоопарка — важно, чтобы все эти компоненты были должным образом представлены в системе экологического просвещения. В Ассизе, на родине святого, теперь ежегодно проходят фестивали, на которых заслуженным деятелям охраны природы вручаются почетные награды. Искусство в поисках истоков эстетического чувства воскресило тотемные образы голубя, тельца и единорога. В цивилизованных странах зоопарки располагают прекрасными вольерами. Возникли философские понятия экоцентризма, биосферизма и близкая им квазиорганизмическая модель Земли — Геи. Все это успехи экологического просвещения.

В практическом плане они означают, что часть программы экологического просвещения может быть выполнена за счет повышения общей культуры и не требует специальных затрат. В

отношении специальной части расчет экономической эффективности по меньшей мере желателен. Он может быть выполнен отдельно для таких блоков как 1) программы подготовки специалистов, 2) программы для руководителей предприятий, 3) программы для фермеров, 4) медико-экологические и 5) информационные программы для населения.

Последние преполагают использование всех средств массовой информации и относятся к числу наиболее дорогостоящих. Чтобы обеспечить окупаемость, они должны быть ориентированы на практические действия. Не имеет смысла обрушивать на слушателя поток сообщений об экологических бедствиях, по поводу которых он ничего не может предпринять и которые повергают его в сосотояние растерянности (и последующего безразличия). Полезнее информировать о слушаниях в парламенте, государственном бюджете и позиции президента в связи с экологическими проблемами, о международных экологических соглашениях, проектах природопользования и экологических экспертизах, о состоянии заповедников и восстановлении исчезающих видов, об экологических фондах. Такого рода информация может стать руководством к действию, но для этого она должна быть соотнесена с системой представлений о проблемах, приоритетах, основных задачах природоохранной деятельности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Охрана природы выглядит донкихотской попыткой остановить биологическую эволюцию и социальный прогресс, если рассматривать ее вне системы целей и смыслов жизни. Человек никогда не соглашался с тем, что жизнь бессмысленна (или существует для самой жизни, что то же самое). Более приемлемой казалась мысль о цели, спущенной свыше, хотя и не всегда внятной. В этом случае, однако, те, что наверху, тоже должны получать от кого-то задания, иначе их существование бессмысленно.

Действительно, законы термодинамики диктуют определенную направленность развития системы, позволяющую говорить о цели. Для компонентов цель задается системой. Так цель гена состоит в воспроизведении генетической системы вместе со средой, в которой она функционирует. Система в свою очередь входит в качестве компонента в системы более высоких уровней и управляется ими. Так цель генетической системы состоит в программировании развития жизнеспособного организма, а цель организма — в устойчивом воспроизведении популяции и т. д.

Биосфера в целом как система высшего порядка развивается в направлении сокращения скорости производства энтропии, которую можно оценить по «отходам» — выводимой из круговорота массе органического вещества и, в историческом плане, по масштабу вымираний. Хотя в целом процент вымирания таксонов и их ранг снижается от одного великого кризиса к другому, объем «отходов» чрезвычайно велик. Обилие тупиковых линий развития свидетельствует о высокой частоте ошибок системы.

В сложных системах, как правило, есть механизм исправления ошибок — репарации повреждений. Так дефектные участки генетического кода вырезаются специальными ферментами-рестриктазами. Биосфера до сих пор не имела подобных механизмов, но по логике развития они должны были рано или поздно появиться. Недавнее появление мыслящего существа означает потенциальную возможность сознательной репарации биосферы. Однако реализация этой возможности зависит от осознания человеком своей эволюционной миссии.

До появления человека цель состояла в устойчивом воспроизводстве систем, состоящих из множества особей, индивидуальное существование которых не имело большого значения. Человеческий вид вышел на новый уровень продления индивидуального существования в культуре, сохранение которой обеспечивает

потенциальное бессмертие личности. Однако эта форма бессмертия пока в полной мере еще не реализуется.

До сих пор человек оказывал разрушительное воздействие на биосферу, но как биологический вид он едва вышел из младенческой стадии своего развития. Еще недавно покорение природы и победа над врагами — другими людьми — считались высшими целями. Но уже сейчас мы смотрим на них как на болезни переходного возраста. Складывается новое мышление, в котором забота о биосфере — охрана природы — играет ведущую роль, приближая нас к осмысленному существованию.

Охрана природы, таким образом, не может рассматриваться как изолированная и самодостаточная область деятельности (знаний), а входит в качестве основного компонента в систему общечеловеческих приоритетов. Этим определяется системный подход к решению природоохранных проблем, устранению их мнимой конфликтности по отношению к основным целям развития и включению в общую систему ценностей. Методические аспекты, содержащие много трудноустранимых неопределенностей, будут рассмотрены в последующих выпусках «Охраны природы».

ВВЕДЕНИЕ 3
ОПРЕДЕЛЕНИЯ 4
ЦЕЛИ 7
ПРНЦИПЫ 9
ПРИНЦИП ИСТОРИЧНОСТИ 9
ПРИНЦИП СИСТЕМНОСТИ 9
ПРИНЦИП БИОСФЕРИЗМА 10
ПРИНЦИП АДАПТАЦИИ 11
ПРИНЦИП ПЛАНЕТАРНОГО ЕДИНСТВА 13
ПРИНЦИП ПРИОРИТЕТА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ 14
ПРИНЦИП УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ 14
ПРИОРИТЕТЫ 16
ПРИРОДА В ОБЩЕСТВЕННОЙ ЖИЗНИ И КУЛЬТУРЕ 19
ЭВОЛЮЦИОНИЗМ КАК МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА ОХРАНЫ ПРИРОДЫ 25
ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ПРОБЛЕМЫ 25
СИСТЕМНАЯ ТЕОРИЯ ЭВОЛЮЦИИ 26
АДАПТАЦИЯ: МОДЕЛЬ НИО БЫ-ЛЕТО 28
ПРОГРЕССИВНОЕ РАЗВИТИЕ ОРГАНИЗМОВ:—«ЛЕСТНИЦА ПРИРОДЫ» 29
ПРОГРЕССИВНОЕ РАЗВИТИЕ СООБЩЕСТВ: К БЕЗОТХОДНОМУ КРУГОВОРОТУ 30
НЕКОГЕРЕНТНОЕ РАЗВИТИЕ: КРИЗИСЫ 33
ВИДООБРАЗОВАНИЕ: ЦИКЛИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ 35
ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ И СТРУКТУРА ГЕНОМА 38
ОТ ЭВОЛЮЦИОННОГО К ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ ВРЕМЕНИ: СУКЦЕССИЯ 39
СУКЦЕССИЯ И ГЕОБИОЛОГИЧЕСКИЕ КРИЗИСЫ: СНЯТИЕ КЛИМАКСНОЙ ФАЗЫ 41
ЧЕЛОВЕК И ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ 43
От роста к равновесию 46
Экономика: эволюционная модель 47
ГЛОБАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ 49
КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ 49
Природные циклы 50
Парниковый эффект — многофакторная модель 54
Приспособление или противостояние 59
СОКРАЩЕНИЕ ОЗОНОВОГО СЛОЯ 62
КИСЛОТНЫЕ ДОЖДИ 66
ОПУСТЫНИВАНИЕ 70
БИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ 73
Структура биологического разнообразия 77
Эволюция биологического разнообразия 79
Воздействие человека на биологическое разнообразие 81
Сохранение биологического разнообразия 85
Потенциальное биологическое разнообразие 89
Репрезентативность сети особо охраняемых природных территорий (ООПТ) 93
Биологическое разнообразие как индикатор воздействий 96
Биологическое разнообразие и биотехнология 97
СОЦИАЛЬНО - ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ 98
Рост населения 99
Ресурсный кризис 103
Земельные ресурсы 104
Энергетические ресурсы 105
Изменение генофонда 108
Возрастание общей агрессивности среды 112
Новые виды воздействий 113
Системные воздействия 117
ПРОГРАММЫ 120
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛИ 120
КАЧЕСТВО ЖИЗНИ КАК ЦЕЛЬ РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ 121
СТЕРЕОТИПЫ 121
ПРОГНОЗ 122
ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ 124

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ 125
ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ 127
Критерии состояния природной среды 128
Критерии состояния населения 130
Пространственно-временные факторы 131
Интегральные показатели 132
Мониторинг 134
ОВОС 135
АНАЛИЗ РИСКА 138
ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ 140
ЗАГРЯЗНЕНИЕ 146
ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ 151
Необходимость в законе 151
Сфера закона 152
Структура закона 153
Компенсационная ответственность 155
Общественные функции закона 156
НОРМИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЙ 156
Нормирование поллютной среды 157
Нормирование мишени 158
Нормальное состояние 159
Регулирование 160
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ СТИМУЛЫ 161
Эколого-экономическая система 162
Эколого-ресурсный потенциал 163
Экономические эффекты экологических требований 164
ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОСВЕЩЕНИЕ 165
Непрерывное обучение 166
Воспитание действием 167
Системность просвещения 168
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 170