

ГЛОБАЛЬНЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КРИЗИС: ВЗГЛЯД НА ПРОБЛЕМУ ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ БИОРАЗНООБРАЗИЯ

А.К. Бродский¹, Д.В. Сафронова²

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Эл. почта: ¹ a.brodsky@spbu.ru, ² dollydolly@mail.ru

Статья поступила в редакцию 14.10.2016; принята к печати 12.11.2016

Проблема антропогенной трансформации биосферы рассмотрена с точки зрения разрушения биоразнообразия. Поскольку в основе устойчивости биосферы лежит биотическая регуляция круговорота веществ, именно биологическое разнообразие обеспечивает компонентное и территориальное равновесие слагающих биосферу экосистем. Авторы прослеживают трансформацию биосферы человеком в ходе истории – от палеолита до наших дней, анализируют пути воздействия человека на природу. В процессе «преобразования природы» результатом деятельности человека стало размыкание естественных биогеохимических циклов, загрязнение и глубокая деградация окружающей среды, утрата местообитаний. При обсуждении выбора приоритетов для решения проблем выхода из глобального экологического кризиса сделан вывод, что нарастающие социальные и природные аномалии представляют собой следствие нашего неверного поведения, в основе которого, помимо социальных, экономических и иных причин, лежит недооценка того значения, которое биоразнообразию играет в нашей жизни.

Ключевые слова: разрушение биоразнообразия, глобальный экологический кризис, трансформация биосферы, динамическая устойчивость биосферы, утрата местообитаний.

THE GLOBAL ECOLOGICAL CRISIS: VIEW THROUGH THE PRISM OF BIODIVERSITY

A.K. Brodsky¹, D.V. Safronova²

Saint-Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

E-mail: ¹ a.brodsky@spbu.ru, ² dollydolly@mail.ru

The problem of anthropogenic transformation of the biosphere is discussed from the standpoint of deterioration of biodiversity. As far as the stability of the biosphere is based on the biotic regulation of the turnover of its components, biodiversity is what ensures the compositional and territorial balances of ecosystems that compose the biosphere. The anthropogenic development of Nature resulted in the disruption of the natural biogeochemical cycles, pollution and profound degradation of the environment, and the loss of habitats for biological species. The discussion of priorities for finding the ways out of the current ecological crisis suggests that the looming social and natural anomalies are rooted in the improper behavior of humans caused by social and economic misconceptions and the underestimation of the significance of biodiversity for the human race.

Keywords: global ecological crisis, biodiversity, biosphere, dynamic stability, habitats.

Введение

Обсуждая проблемы биосферного равновесия, политики и журналисты рассматривают биосферу, прежде всего, как среду существования человека, фокусируя внимание на абиотических параметрах среды – показателях климата, концентрации парниковых газов, уровнях загрязнения среды и др. Процессы, происходящие в живой природе, при этом отодвигаются на задний план. Однако условия, в которых может жить человек, созданы и поддерживаются непрерывной работой живой природы, которая, по сути, является биосферной системой жизнеобеспечения человечества.

Среди многочисленных публикаций, посвященных анализу проблем развития и деградации биосферы [4, 7, 14, 16, 17, 25], вопросы о причинах и последстви-

ях глобального экологического кризиса рассматриваются с самых разных позиций. В настоящей статье основное внимание уделено разрушению биоразнообразия.

Суммируя информацию об угрозе разрушения равновесия биосферы, проследим цепочку событий, ведущих биосферу в этом направлении: рост населения → интенсификация природопользования → нарушение биогеохимических циклов → загрязнение среды (+ изменение лика планеты) → **утрата местообитаний** → **разрушение биоразнообразия** → деградация экосистем → нарушение территориального и компонентного равновесия биосферы → угроза существованию человечества.

1. ИСТОРИЯ: ОТ ЗАГОННО-ОБЛАВНОЙ ОХОТЫ К ЗЕМЛЕДЕЛИЮ И СКОТОВОДСТВУ

Первое серьезное воздействие человека на биосферу было связано с изобретением загонно-облавной охоты в палеолите. Человек перешел от собирательства к охоте в засаде, что дало ему возможность охотиться на животных, значительно более крупных, чем он сам. Уничтожены были мамонты, пещерный лев и пещерная гиена. Исчез пещерный медведь, вдвое превышавший размером бурого медведя. Этот вид был приручен к карстовым ландшафтам и стал не только конкурентом человека по использованию убежищ, но и важным объектом охоты. Массовому уничтожению подверглись зубры.

Изобретение лука и стрел в мезолите способствовало расширению числа охотничьих видов, привело к возникновению новых форм охоты с использованием собак при загоне. Расселившийся по Ойкумену человек продолжал наступление на природу. Одной из первых жертв береговых поселений зверобоев на тихоокеанском побережье Америки и Алеутских островов стала морская корова (*Hydrodamalus stelleri*).

Главным событием эпохи неолита была так называемая неолитическая революция – переход от собирательства и охоты к растениеводству, связанному с окультуриванием растений, и животноводству, связанному с одомашниванием животных. Крупнейшим экологическим результатом неолитического скотоводства стало возникновение пустыни Сахары. Еще 10 тыс. лет назад на территории Сахары была саванна, жили бегемоты, жирафы, африканские слоны, страусы. Человек перевыпасом стад крупного рогатого скота и овец превратил саванну в пустыню.

В отличие от предшествующих времен, человек стал не только потреблять, но и производить. Кроме появления *производящего* хозяйства неолитическая революция включала в себя ряд последствий, важных для всего образа жизни человека эпохи неолита. Небольшие мобильные группы охотников и собирателей, господствовавшие в предшествующей эпохе мезолита, осели в крупных поселениях возле своих полей, радикально изменили окружающую среду путем культивирования (в том числе ирригации) и хранения собранного урожая в специально возведенных зданиях и сооружениях. Рост числа ирригационных каналов при поливном земледелии сопровождался засолением почв и способствовал развитию глинистых и солончаковых пустынь на залежных землях.

Фактически, события, предшествовавшие неолитической революции, представляют собой пример первого глобального (в масштабах тогдашней Ойкумены) кризиса, когда численно растущее население уничтожило большинство доступных для добычи и охоты пищевых ресурсов. Решение, найденное в про-

цессе неолитической революции, заложило основы для нового кризиса, выразившегося в упадке орошаемого земледелия вследствие вторичного засоления и заболачивания орошаемых почв. И каждый раз в ходе региональных кризисов человек имел возможность искать и находить более подходящие для своего существования условия, например, перемещаясь на другие территории. Так произошло массовое заселение Европы.

Принципиальное отличие современного глобального кризиса от региональных состоит в том, что возможность освоения новых территорий практически отсутствует, особенно если учесть огромную численность современной человеческой популяции, уже занявшей почти все доступные места на планете. Кроме того, для глобального кризиса характерна еще одна особенность – чрезвычайно быстрая деградация жизнеобеспечивающих механизмов всей биосферы. Развитие человеческих цивилизаций на планете кардинально изменило эволюционно сложившиеся круговороты веществ, потоки энергии и информации в биосфере. Рассмотрим этапы и особенности этого процесса.

2. ПУТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА НА ПРИРОДУ

До последних нескольких сотен лет рост численности населения был относительно медленным, уровень рождаемости лишь слегка превышал уровень смертности. Самое большое давление на природные комплексы произошло за последние 150 лет, когда население Земли выросло от 1 млрд человек в 1850 г. до 2 млрд человек в 1930 г., а на 12 октября 1998 г. составило 6 млрд человек. По оценочным прогнозам, к 2050 г. оно достигнет 10 млрд человек [22]. Без серьезных препятствий численность населения планеты продолжает расти экспоненциально, но неравномерно в разных странах. В индустриально развитых странах рост населения замедлился, но во многих регионах тропической Африки, Латинской Америки и Азии – регионах с наибольшим биологическим разнообразием – он по-прежнему высок. Кроме того, статистические данные показывают зависимость между доходом на душу населения и рождаемостью в разных странах мира (рис. 1).

С ростом уровня благосостояния в обществе коэффициент рождаемости постепенно снижается. В беднейших странах мира он составляет от 20 до 50 рождений на 1000 чел. в год. Ни в одной из богатых стран мира коэффициент рождаемости не превышает 20. В правой части графика четко видна зависимость между высокими доходами и низкой рождаемостью. Однако в самой левой части графика, в области минимальных доходов также четко видны исключения из этой зависимости. Например, в Китае для его уровня доходов рождаемость чрезвычайно низка. В некото-

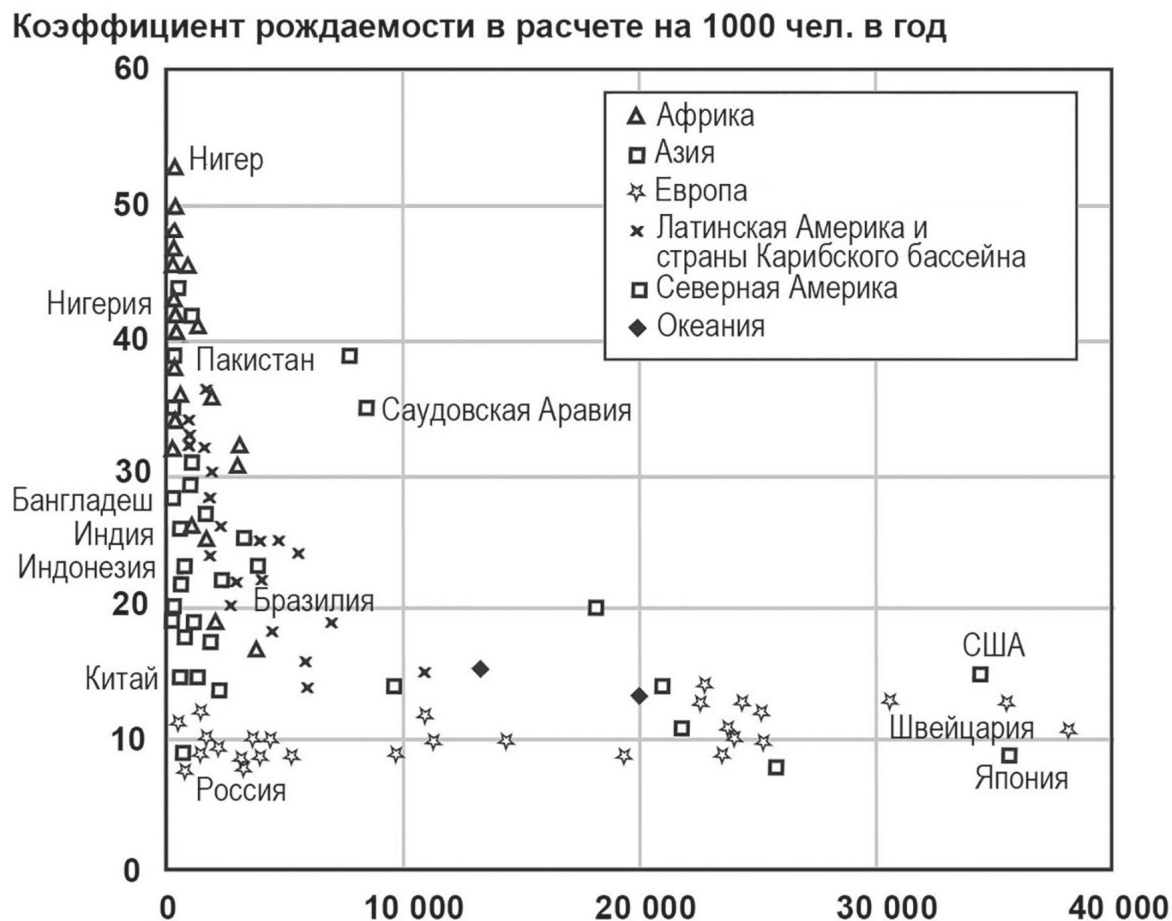


Рис. 1. Коэффициент рождаемости и валовой национальный доход на душу населения в 2001 г. По [20] с изменениями

рых странах Ближнего Востока и Африки при относительно высоких уровнях доходов наблюдается чрезвычайно высокий коэффициент рождаемости.

Техническая вооруженность позволила человеку осваивать ресурсы, малодоступные или недоступные другим видам (включая ископаемые), и, как следствие, преодолеть препятствия для роста своей численности в виде ограниченности необходимых для этого ресурсов. Воздействие человеческого общества как единого целого на природу по своему характеру резко отличается от воздействия на нее всех других живых существ. В.И. Вернадский писал: «Раньше организмы влияли на историю тех атомов, которые были нужны им для роста, размножения, питания, дыхания. Человек расширил этот круг, влияя на элементы, нужные для техники и создания цивилизованных форм жизни», что и изменило «вечный бег геохимических циклов» [5]. Первое и очевидное следствие природопользования – нарушение естественных биогеохимических циклов (рис. 2).

2.1. Нарушение естественных биогеохимических циклов

Солнечная энергия вызывает на Земле два круговорота веществ: большой, или геологический, ярко проявляющийся в круговороте воды и циркуляции атмосферы, и малый, или биотический. Малый круговорот развивается на основе большого геологического. Взаимодействие абиотических факторов и живых организмов экосистемы сопровождается непрерывным круговоротом веществ с переходами между органическими и минеральными соединениями.

Каждый химический элемент, совершая круговорот в экосистеме, следует по своему пути, но все круговороты приводятся в движение энергией, поочередно фиксируемой и высвобождаемой в результате жизнедеятельности растений, животных и микроорганизмов. Чтобы жизнь продолжала существовать, химические элементы должны постоянно циркулировать из внешней среды в живые организмы и обратно, переходя из одних организмов в усвояемую для других организмов форму. Вещества в экосистемах соверша-

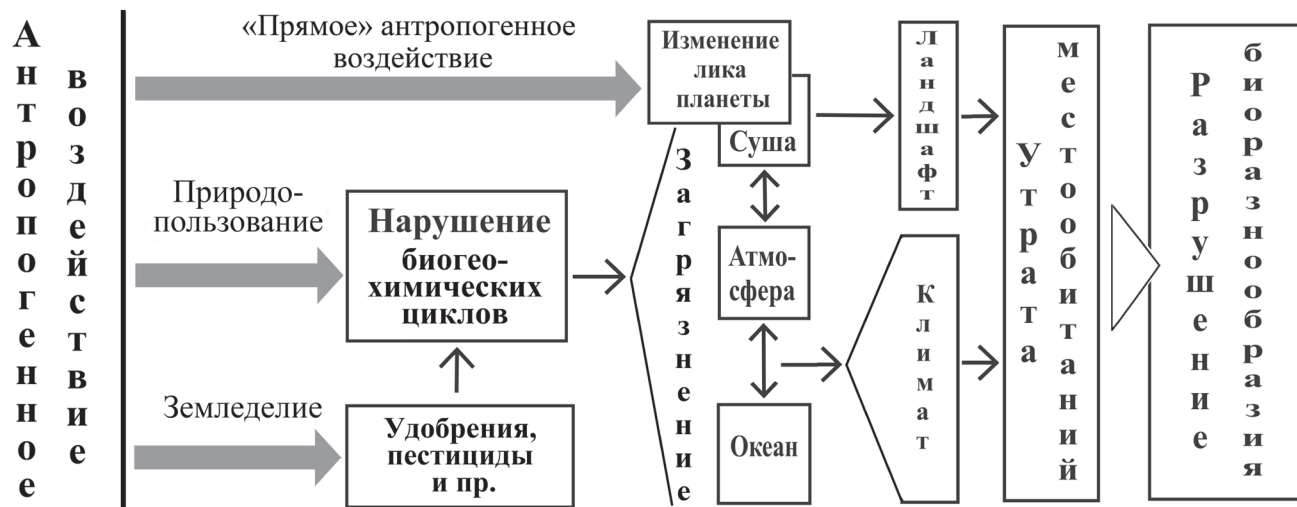


Рис. 2. Блок-схема, иллюстрирующая последовательность шагов антропогенного воздействия на биоразнообразие

ют практически полный круговорот, попадая сначала в организмы, затем в абиотическую среду и вновь возвращаясь к организмам.

Все современные цивилизации зарождаются и развиваются за счет эксплуатации природных ресурсов. В процессе производства материальных благ человек воздействует на оба круговорота – биологический и геологический. Неизбежным итогом деятельности человека по «преобразованию природы» стало изменение сложившегося веками соотношения продуцентов, консументов и редуцентов [11]. Роль в круговоротах естественных продуцентов существенно снизилась в результате вырубки лесов, прокладки дорог и иных элементов инфраструктуры. Распашка и «запечатывание» почвы негативно сказались на участии редуцентов в замыкании биогеохимических циклов. Параллельно с этими процессами происходит резкое увеличение массы консументов (рост биомассы человечества – около 7 млрд человек плюс несколько миллиардов сельскохозяйственных и домашних животных).

Вовлекая сырье и ископаемые виды топлива в процесс производства материальных благ, человек тем самым оказывает серьезное влияние и на геологический круговорот. До определенной поры интенсивность использования природных ресурсов обеспечивала быстрый рост населения, но истощение ресурсов ставит вопросы о рационализации их использования и о необходимости их воспроизводства (рис. 3). С биоэкономических позиций, в воспроизводстве природных ресурсов можно выделить несколько аспектов. Во-первых, это «чистое» воспроизводство, в котором находит выражение экономический аспект охраны

природы – угроза истощения важных природных ресурсов. Во-вторых, это «подметание полов» за техническим прогрессом – борьба с загрязнениями, в котором находит выражение не только экономический, но и санитарно-гигиенический аспект охраны природы – угроза здоровью людей вследствие загрязнения среды. В-третьих, это пока еще недооцененное, но основное в будущем для человечества в целом воспроизводство экологических ресурсов и условий, обеспечивающее экологическое равновесие. Здесь находит выражение экологический аспект охраны природы. Речь в данном случае идет о воспроизводстве ресурсов, не входящих в вещественный состав создаваемого продукта и непосредственно не используемых в процессе производства, но лишь при условии существования которых и во взаимодействии с которыми возможно создание материальных благ и развитие человечества. Этот компонент природопользования необходимо учитывать при обсуждении возможных путей выхода из глобального экологического кризиса. Речь об этом пойдет в заключении.

Следует, однако, признать, что в настоящее время потребности в ресурсах значительно опережают попытки направить часть этих ресурсов на их воспроизводство. Углеродное сырье по-прежнему остается абсолютным лидером среди источников энергии, используемых цивилизацией: в настоящее время оно обеспечивает примерно 4/5 всей энергии, потребляемой человечеством [10]. Экспоненциальный рост мировой экономики ведет к истощению физических возможностей биосферы, происходят изменения в составе и структуре воды и воздуха, все чаще мы становимся свидетелями чрезвычайных техногенных ситуаций.

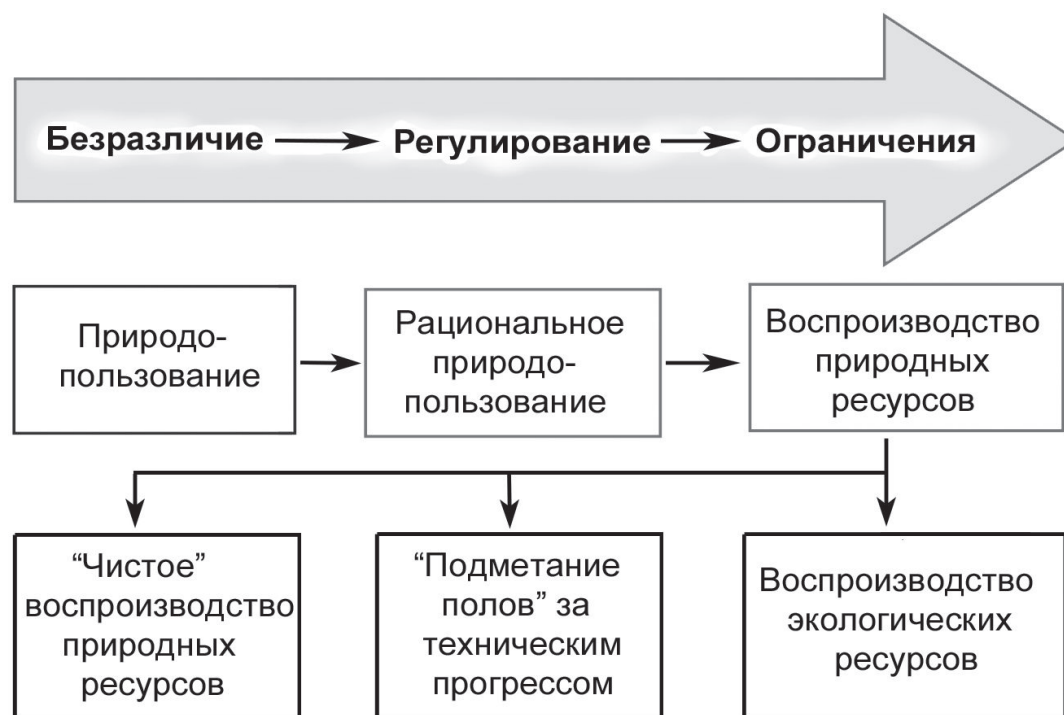


Рис. 3. Смена форм природопользования как реакция на размыкание биогеохимических циклов и истощение ресурсов

Среди различных форм землепользования (сельское и лесное хозяйство, транспортная инфраструктура, энергетика, туризм, охрана природы) наибольшее разрушающее влияние на природу оказывает сельское хозяйство (рис. 2). В упрощенной обедненной видами системе, характерной для современного монокультурного сельского хозяйства, продуценты, консументы и редуценты не могут обеспечить полноту замыкания биогеохимических циклов, что вынуждает привлекать дополнительные источники энергии и ресурсов. Вот как это происходит.

Урожай в общепринятом смысле, то есть чистую первичную продукцию, не потребленную гетеротрофами за вегетационный период, можно представить в следующем виде:

$$B = P_G - R - (P_2 + P_3 + \dots),$$

где P_G – валовая первичная продукция; R – затраты на дыхание растений; P_2, P_3, \dots – вторичная продукция. Графическая модель урожая (рис. 4) учитывает неизбежность экологических потерь в ответ на сокращение расходов, связанных с получением урожая; в ней подчеркнута обратная пропорциональная зависимость между двумя составляющими урожая: экономическими тратами и экологическими потерями. С целью получить как можно больший выход полез-

ной продукции человек стремится воздействовать на каждый из членов этого уравнения. Для увеличения валовой первичной продукции (P_G) необходима селекционная работа, выведение новых высокопродуктивных сортов растений. Данный путь требует высокого научного потенциала и длительного времени, но с экологической точки зрения он наименее опасен. Для того чтобы компенсировать затраты растений на дыхание (R), человек вкладывает энергию в форме работы сельскохозяйственных машин и в виде производства удобрений. Применение удобрений и использование сельскохозяйственной техники неизбежно вызывает загрязнение и другие нарушения среды. Наконец, нежелание делиться урожаем с природными «потребителями» вынуждает человека использовать различные ядохимикаты, загрязняющие и разрушающие среду. Данный путь не требует больших экономических затрат, или, по крайней мере, они вполне доступны даже экономически слабым странам. Однако с точки зрения экологических последствий он связан с наибольшими издержками, так как борьба с насекомыми, вредящими сельскому хозяйству, не только вызывает загрязнение среды пестицидами, но и уменьшает видовое разнообразие и, следовательно, снижает устойчивость агроценозов.

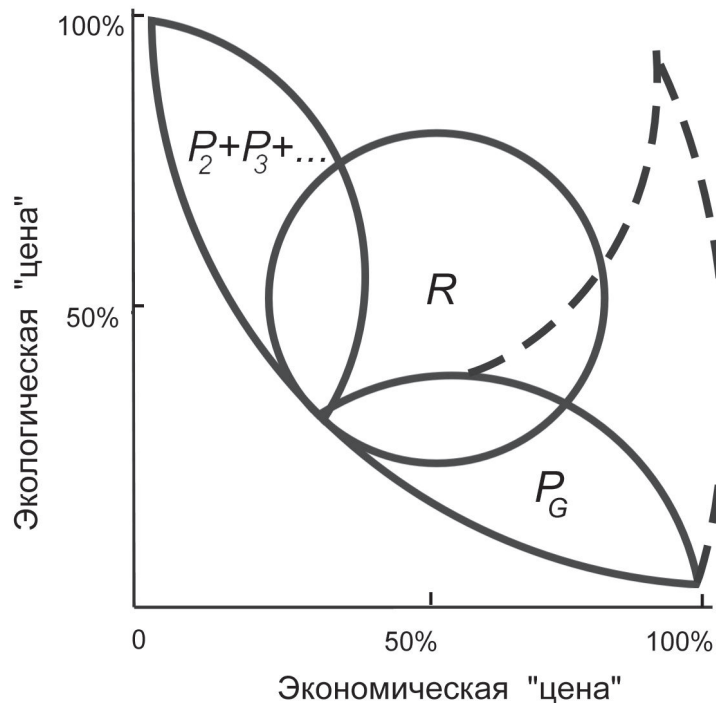


Рис. 4. Соотношение экономических затрат и экологического ущерба при различных вариантах повышения урожая. Площадь, ограниченная пунктирной линией, соответствует потенциально возможному ущербу вследствие «генетического загрязнения» среды

Для получения все большего количества сельскохозяйственной продукции человек опережающими темпами вносит в землю продукты сельскохозяйственной химии. Уже сегодня в ряде сельскохозяйственных районов в таких аграрно-развитых странах, как США, Голландия и Канада, почвы, по существу, мертвы и способны давать сельскохозяйственную продукцию лишь при использовании генетически модифицированных растений. Не удивительно, что площади, занятые генетически модифицированными зерновыми, возросли с 1996 по 2001 г. почти в 50 раз [12]. Как отмечает автор популярной в 70-х гг. прошлого столетия книги «Бомба перенаселения» П. Эрлих, «пытаясь прокормить растущее число себе подобных, мы подвергаем опасности саму способность Земли вообще поддерживать какую-либо жизнь» [27].

2.2. Антропогенное загрязнение биосферы

Первое и неизбежное следствие нарушения биогеохимических циклов – загрязнение среды (рис. 2). Сырье и энергию, используемые населением и в производстве, человек берет у планеты. А затем все это не исчезает – после того, как потоки использованы в экономической деятельности, остатки сырья идут на пере-

работку или превращаются в отходы и загрязнители, а энергия рассеивается в виде тепла в окружающую среду. Потоки вещества и энергии, проистекающие из планетарных источников, проходят через экономическую подсистему и направляются в планетарные стоки, где и остаются в виде отходов или загрязнителей (рис. 5).

Влияние загрязнения на свойства биосферы изучено, пожалуй, лучше всего с тех пор, как внимание мировой общественности к опасности, исходящей от пестицидов, было привлечено в 1962 г. нашумевшей книгой Р. Карсон «Молчаливая весна» [26]. Слово «загрязнение» стало обыденным; оно наводит на мысли об отравленных воде, воздухе, земле. Загрязнение можно определить как поступление любых веществ в неполюженное место. Значит, принося пользу в одном месте, они вызывают загрязнение, когда выбрасываются или поступают туда, где никому не нужны, и могут нанести ущерб окружающей среде или здоровью человека.

Различают несколько видов загрязнений; два из них являются основными. В-первых, это *химическое загрязнение*, которое определяется появлением в биосфере благодаря деятельности человека несвойственных ей химических веществ или известных химических веществ в необычно большом количестве и в чуждых природе формах. Во-вторых, это *физи-*



Рис. 5. Население и капитал в глобальной экосистеме. По [20].

Население и капитал поддерживают свое существование за счет потоков ископаемых видов топлива и невозобновляемых ресурсов планеты и производят потоки тепла и отходов, загрязняющих воздух, воду и почву на планете

ческое загрязнение, вызванное растущей плотностью электромагнитных полей (сотовая и радиосвязь, телевидение, радиолокация, токи высокой и сверхвысокой частот, инфракрасное, световое и тепловое загрязнение и др.), ионизирующего излучения, а также загрязнением атмосферы взвешенными мелкими (меньше 10 мкм) пылевидными частицами и сажей.

С термином «загрязнение» нередко ассоциируют еще два понятия: биологическое загрязнение и генетическое загрязнение. К первому относят процессы, связанные с загрязнением биосферы патогенными формами бактерий, грибов, вирусов и их токсинами, а также появление в экосистемах чуждых организмов в результате намеренной или случайной инвазии. В качестве генетического загрязнения рассматривают последствия быстрого накопления в природе генетически модифицированных растений и животных.

Загрязнения окружающей среды можно также подразделить на природные, вызванные естественными, обычно катастрофическими причинами (извержение вулкана, селовой поток и т. п.), и антропогенные, возникающие в результате деятельности людей. Загрязнение окружающей среды отрицательно влияет на свойства биосферы, однако конкретные механизмы этого влияния различны и зависят от того, какая среда – воздух, вода или почва – загрязнена.

В первую очередь внимание привлекает загрязнение воздушного бассейна. Долговременные наблюдения показывают, что за последние 20 лет сжигание топлива дает $\frac{3}{4}$ роста концентрации CO_2 , а $\frac{1}{4}$ приходится на сведение лесов и деградацию земель. С 1800-х по 2000-е гг. в атмосферу было выброшено 270 млрд тонн углерода, а содержание CO_2 в атмосфере в последние годы возрастает на 0,5% ежегодно [13].

Такие виды промышленности, как металлургическая, а также работающие на угле и мазуте электростанции выбрасывают в воздух огромное количество оксидов азота и серы, где они взаимодействуют с влагой атмосферы и образуют азотную и серную кислоты. Кислотные дожди – причина разрушения водных экосистем и гибели многих видов животных и растений. Наряду с гибелью озер происходит и деградация лесов. Замедление роста и гибель некоторых видов деревьев наблюдается во многих районах, страдающих от кислотных дождей. Эти осадки вместе с другими загрязнителями, по-видимому, создают стресс, не выдерживаемый лесной экосистемой. Подкисление озер и рек достаточно сильно влияет и на сухопутных животных, так как многие птицы и звери составляют звенья в составе пищевых цепей, начинающихся в водных экосистемах.

Не меньшую опасность представляет загрязнение почв. Продукт ядерного распада стронций-90, постоянно накапливающийся в атмосфере и выпадающий на землю с атмосферными осадками, легко поглощается листьями и корнями растений и в конце пищевой цепи вместе с кальцием откладывается в костях позвоночных. Из-за большого периода полураспада продолжительностью 29 лет этот опасный радионуклид долго сохраняется в растениях и почве.

Масштабная и очень сложная проблема – загрязнение Мирового океана. Ежегодно в Мировой океан со сточными водами поступает до 320 млн тонн соединений железа, 22 млн тонн фосфора, 2,3 млн тонн свинца, до 10 млн тонн нефтепродуктов и до 10 млн тонн пластикового мусора [25]. В некоторых акваториях масса пластикового мусора, находящегося на поверхности и в толще воды (мусорные поля), содержащие до 14 тыс. плавающих кусков пластикового мусора на 1 км²,кратно выше биомассы планктона. К 2014 г. число «мертвых зон» – акваторий с погибшим бентосом и планктоном в результате выноса токсических веществ с суши, – достигло 600, и это число растет.

2.3. Антропогенное изменение лика планеты

Помимо вольного или невольного нарушения биогеохимических циклов человек в процессе природопользования оказывает прямое воздействие на природу (рис. 2): регулирует сток рек, создает водохранилища, возводит города, строит дороги. Так, по оценкам ООН, около 30% поверхности суши подверглось экологической деградации вследствие деятельности человека (опустынивание, обезлесивание, эрозия, «запечатывание» почв – использование поверхности планеты для 65 млн км автодорог, 1,5 млн км железных дорог, 30 тыс. аэропортов, 2,5 млн городов и пр.), а около 60% экосистем суши существенно нарушены.

Процент покрытия суши основными типами местообитаний сегодня разительно отличается от того, каким он был 8000 лет назад. Площадь лесов сократилась, приблизительно, в половину. Что касается оставшихся лесов, то только половину их можно рассматривать как «относительно нетронутые, крупные природные неповрежденные лесные экосистемы», и только 60% из них не находятся под угрозой исчезновения. Таким образом, площадь естественных лесных экосистем, не находящихся под угрозой исчезновения, снизилась с 62 млн км² до всего лишь 8,4 млн км² в наши дни (рис. 6). Значительная часть оставшихся лесов – это бореальные (северные) леса России и Северной Америки, а также тропические леса Южной Америки. Немного тропических лесов осталось в Южной Азии (в основном в Индонезии) и Африке (в основном в Демократической Республике Конго). Около половины современных лесов составляют тропические леса,

из которых 12% защищены, в то время как только 6% нетропических лесов оказываются защищенными.

Масштабное наступление человека на природу особенно болезненно сказывается на ней при создании инфраструктуры, обеспечивающей добычу полезных ископаемых, создание производственных комплексов и строительство городов. Нередко полное уничтожение природного ландшафта представляет собой результат непродуманного регионального пространственного планирования в процессе бесконтрольной и беспорядочной урбанизации. Фермы и природные ландшафты, окружающие города, непрерывно уступают место новым жилым кварталам, торговым центрам, промышленным предприятиям, автостоянкам и другим сооружениям, связанным между собой новыми автомагистралями. Их безудержный рост допускается и поощряется как показатель сильной экономики. Однако слишком часто он происходит без всякого плана и никак не регулируется.

Интенсивное промышленное освоение районов Крайнего Севера началось сравнительно недавно – в середине XX в., но идет ускоряющимися темпами, захватывая новые территории. Чем выше географическая широта, тем масштабнее и болезненнее раны, которые человек наносит различным элементам ландшафта. В районах нефтедобычи Западной Сибири отсутствие достаточно продуманного регионального планирования порождает глубокие негативные изменения в структуре ландшафтов. Следствием территориального размещения объектов и сооружений технологического цикла добычи, складирования и транспортировки сырой нефти стало почти полное сведение почвенного покрова, загрязнение водоемов и почвы нефтепродуктами, уничтожение лесов и загрязнения атмосферы. За этими нарушениями следует непредсказуемое изменение регионального климата. Прокладка дорог без учета наклона местности сопровождается нарушением естественного стока, заболачиванием и гибелью леса. Всюду, куда ни помотришь с борта вертолета, видны участки эродированного почвенного покрова, постройки, емкости для хранения нефти и многочисленные факелы, в которых сгорают попутный газ и легкие фракции нефти.

Среди антропогенных воздействий техногенные механические повреждения, в частности, разработка карьеров, – наиболее травмирующие, часто приводящие к полному уничтожению почвенно-растительного покрова. Площади таких техногенных местообитаний в ходе индустриального освоения Крайнего Севера постоянно увеличиваются. Внимание геоботаников приковано к изучению процесса самовосстановления растительности на обнажившемся минеральном субстрате. Их исследования показывают, что и через многие годы природа не способна вернуться к тому состоянию, из которого ее ради кратковременной выгоды вывел человек.

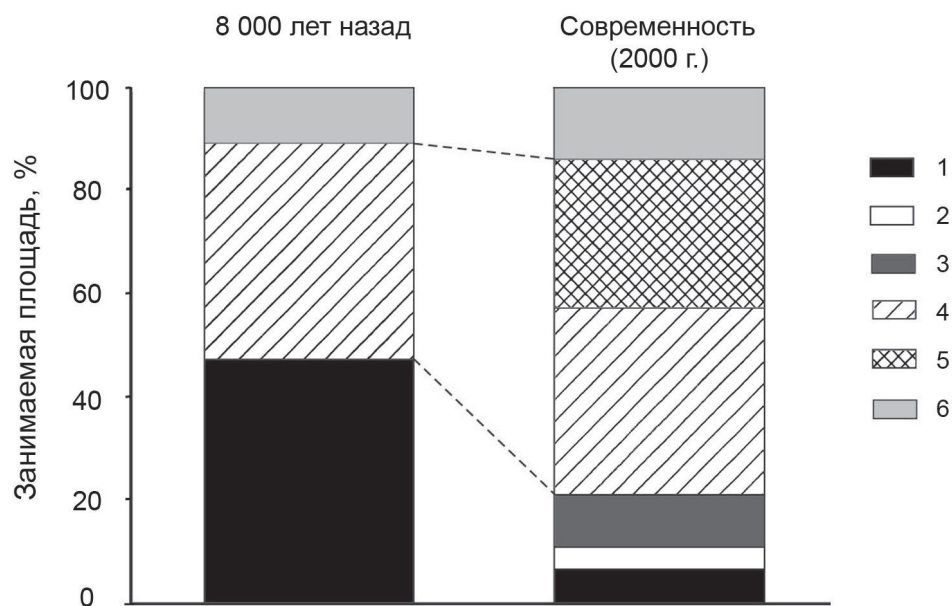


Рис. 6. Встречаемость основных местообитаний Земли около 8000 лет назад и в наши дни. Рассматриваются три основных естественных типа местообитаний – леса, луга и прочие. По [23].

В наши дни леса подразделяются на девственные, неподверженные антропогенным воздействиям; девственные, подверженные антропогенным воздействиям, и трансформированные. Луга подразделяются на луга и сельскохозяйственные угодья. 1 – неподверженные антропогенным воздействиям девственные леса; 2 – подверженные антропогенным воздействиям девственные леса; 3 – трансформированные леса; 4 – луга; 5 – сельскохозяйственные угодья; 6 – другие ландшафты

По мере прогресса в исследованиях антропогенного воздействия на экосистемы высоких широт все более очевидной становится необходимость внимательного отношения к неизбежным экологическим последствиям создания инфраструктуры с учетом того факта, что глубина и масштаб негативных изменений возрастают с географической широтой, а длительность сохранения негативных последствий антропогенного воздействия становится по существу бесконечной. Подобные данные предостерегают от вмешательства человека в хрупкие экосистемы арктических широт – никакие, пусть самые обширные, запасы энергоресурсов, их добыча, сопровождаемая развитием инфраструктуры, не смогут в будущем компенсировать огромные по масштабу и глубине экологические нарушения.

2.4. Изменение геохимии ландшафтов

Ключевое слово при обсуждении проблем, связанных с нарушением биогеохимических циклов, – скорость. Стоит потоку веществ замедлиться на каком-то из этапов, как мы сталкиваемся либо с загрязнением, вызванным избыточным количеством данного вещества, либо с его недостатком. Во втором случае такое вещество начинает играть лимитирующую роль,

что заставляет человека компенсировать его нехватку, прибегая к другим источникам и ресурсам. В итоге вещества, ранее сконцентрированные в каком-то одном месте, расплываются и разносятся по большим площадям – меняется геохимия ландшафтов. Значительную роль в нарушении геохимии ландшафтов играет также освоение новых ресурсов, малодоступных или недоступных редуцентам из-за их неспособности утилизировать искусственную антропогенную продукцию. Все это сказывается на загрязнении не только урбанизированных и сельскохозяйственных территорий, но и соседних с ними территорий естественных экосистем.

Важный источник изменения геохимии ландшафтов – широкое использование человеком минеральных ресурсов, ранее практически недоступных для живых организмов. Так, масштабная антропогенная фиксации азота в форме минеральных удобрений превысила уровень естественной фиксации азота растениями и микроорганизмами. Концентрация соединений фосфора в пресноводных водоемах мира, поступающих туда в основном в форме поверхностно активных веществ, увеличилась за последние 50 лет на 75%.

Разрушения, связанные с попытками преобразования ландшафта, особенно болезненно сказываются на природных комплексах в сочетании с загрязнени-

ем среды (рис. 2). Нарушение геохимических циклов происходит не только за счет выбросов в атмосферу и сбросов в гидро- и литосферу. При сжигании угля, сланцев, нефти и газа в среду в огромных количествах поступают десятки химических элементов и соединений (включая тяжелые металлы, углерод, азот, серу, йод). Вместе с минеральными удобрениями в среду поступает большое количество различных токсичных химических элементов (включая кадмий, мышьяк, медь, свинец, ртуть, цинк), оказывающих негативное воздействие на биоту и человека. Обширные геохимические аномалии создаются при орошении и мелиорации: с поливными и дренажными водами на дневную поверхность ежегодно поступают миллионы тонн различных солей, которые резко изменяют геохимическую обстановку больших территорий [15]. Обширные геохимические аномалии возникают вокруг добывающих минеральное сырье предприятий (хвостохранилища, терриконы, горные отвалы).

Человек действительно меняет лик планеты: перемещает минеральные вещества в масштабах, сопоставимых с природными (ежегодно из геосферы извлекается более 100 млрд тонн минеральных веществ, из которых 97–98% превращается в отходы), регулирует сток половины речных систем планеты. Общая площадь 60 тыс. водохранилищ мира превышает 1 млн км² (0,7% суши). При этом ежегодно сооружается еще около 500 новых водохранилищ. Создание водохранилищ уже изменило природу прилегающих территорий на площади не менее 1,5% территории суши.

2.5. Антропогенное изменение климата

Одно из проявлений глобального экологического кризиса – антропогенное изменение климата (рис. 2). В истории Земли были периоды, когда планета была покрыта ледяным панцирем, но были периоды, когда средняя температура воздуха на планете была выше современной на 6–14 °С, а океанических вод – примерно на 15 °С. Современные данные об изменении климата свидетельствуют о том, что вследствие вырубки лесов и выбросов парниковых газов (в первую очередь, углекислого газа и метана в результате сжигания ископаемого топлива и развития животноводства) средняя температура воздуха у поверхности Земли увеличилась с 1750 г. на 0,7 °С [25].

Одним из прогнозируемых следствий изменения климата стало сокращение площади ледового покрова в Арктическом регионе. В первые годы XXI в. резко изменился характер таяния и повторного замерзания морского льда в Северном Ледовитом океане. В сентябре 2007 г. был отмечен самый низкий показатель по площади ледового покрова с момента начала спутниковых измерений в 1979 г.; он был на 34% меньше среднего летнего минимума в период 1979–2000 гг.

В дополнение к сокращению площади происходит значительное истончение и обновление морского льда в Арктике: при максимальной величине площади в марте 2009 г. лишь 10% Северного Ледовитого океана были покрыты льдом старше двух лет; для сравнения: в 1979–2000 гг. доля льда старше двух лет составляла в среднем 30%. Это повышает вероятность дальнейшего ускорения высвобождения воды от ледового покрова в будущие летние периоды.

Перспектива исчезновения льда в летние периоды в Северном Ледовитом океане означает утрату всего биома. Целые сообщества видов адаптированы к жизни поверх ледового покрова или под ним – от водорослей, которые растут на нижней поверхности многолетнего льда и на которые приходится до 25% первичной продукции Северного Ледовитого океана, до беспозвоночных и других видов, находящихся выше по пищевой цепи, – птиц, рыб и морских млекопитающих.

Существует еще один аспект утраты ледяного покрова Арктики. Сокращение и утрата летнего и многолетнего льда чревато последствиями для биоразнообразия и за пределами Арктики. Белый лед отражает лучи солнечного света. Если на его месте появится более темная вода, океан и воздух будут нагреваться значительно быстрее, что еще больше ускорит таяние льда и нагревание воздуха над поверхностью суши и приведет к утрате тундры. Сокращение морского льда вызовет изменения температуры и солености морской воды, ведущие к изменению первичной продукции и видового состава планктона и рыбы, а также к крупномасштабным изменениям циркуляции океана, что затронет природные процессы далеко за пределами Арктики.

Многие последствия антропогенного изменения климата не очевидны и требуют внимательного и углубленного изучения. Из-за неясности последствий это, несомненно, важнейшее проявление глобального экологического кризиса получило название «Великое неизвестное» (The Great Unknown). Тем не менее, не вызывает сомнения, что последствия глобального изменения климата сказываются на здоровье людей, сельском хозяйстве, инфраструктуре и населении. Так, велика вероятность того, что рост опасных атмосферных явлений, таких как смерчи, ураганы, торнадо, представляют собой следствие антропогенного изменения климата: повышение температур приводит к увеличению испаряемости океана и, как следствие, к повышению турбулентности атмосферы. К этому надо добавить, что еще в 1984 г. был предсказан рост подобных явлений как результат увеличения электропроводности атмосферы в связи с постоянными выбросами атомной промышленностью мира больших количеств криптона-85. Следует также отметить тот факт, что потепление климата вызывает повышение уровня Мирового океана: в настоящее время рост

уровня океана составляет 3 мм/год, причем имеет тенденцию к дальнейшему росту [19].

3. БИОСФЕРНОЕ РАВНОВЕСИЕ И ПОСЛЕДСТВИЯ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Масштабное вмешательство человека в живую структуру планеты, прежде всего посредством химизации сельского хозяйства и выбросов в атмосферу продуктов горения углеводородного топлива, привело к нарушению естественных взаимосвязей на всех уровнях биосферы. Основным итогом воздействия человека на природу – глубокая деградация окружающей среды, утрата местообитаний (рис. 2). Под этим подразумеваются как прямое и полное разрушение естественной среды, так и ее деградация, то есть частичное разрушение, утрата свойств, необходимых для жизнедеятельности биотического сообщества. Необходимые для этого качества утрачиваются в первую очередь под влиянием прямого антропогенного воздействия, истощающего природные ресурсы, а также вследствие интродукции чужеродных видов и загрязнения среды.

3.1. Утрата местообитаний

Нарушение среды, лишение ее свойств, пригодных для полноценного существования биотического сообщества, принимает разные формы, затрагивает разные компоненты ландшафта и происходит с различной скоростью. Так, наземные и водные местообитания по-разному страдают от антропогенного воздействия. В случае наземных экосистем наибольшее значение имеет прямое разрушение, деградация экосистемы, в случае водных экосистем чаще всего естественная среда утрачивается в результате загрязнения. Кроме того, в результате деятельности человека в окружающей среде нередко создаются условия, к которым инвазивные виды адаптируются легче, чем местные. Трансформируя экосистемы, человек тем самым создает условия для внедрения и быстрого размножения видов-вселенцев.

Строительство дорог, дамб и иных сооружений вдоль береговых линий происходит удивительно быстро. Подсчитано, что в Европе начиная с 1960 г. в периоды массовой застройки ежедневно осваивается почти километровая полоса морского побережья. А это означает, что с такой же скоростью исчезают дюны и уничтожается уникальная среда, в которой только и могут существовать многие виды животных и растений.

В ряде случаев деградация местообитания происходит скрытно, без явных внешних признаков. Так, внешние факторы, которые не изменяют доминирующую растительную структуру сообщества, могут тем не менее привести к нарушениям в биотическом сообществе и в конечном итоге к исчезновению ви-

дов, хотя эти изменения заметны не сразу. Например, в лиственных лесах умеренного пояса деградация местообитаний может быть вызвана частыми неконтролируемыми низинными пожарами; эти пожары не обязательно губят зрелые деревья, но постепенно обедняют богатые сообщества лесных травянистых растений и насекомых лесной подстилки.

Столь же, на первый взгляд, незначительное воздействие приводит к сокращению видового разнообразия морских экосистем. Незаметно для общественности рыболовные суда ежегодно тралами бороздят около 15 млн км² океанского дна, разрушая площадь, в 150 раз большую, чем площадь вырубаемых за тот же период лесов. Тралы с рыболовных судов повреждают такие нежные создания, как анемоны и губки, сокращая видовое разнообразие и изменяя структуру сообществ.

Развитие новых технологий и разрушение окружающей среды в результате деятельности человека идет со скоростью, значительно превышающей способности видов адаптироваться к новым условиям. Исключение составляют немногие виды животных и растений, которые мы называем сорными и с которыми не желаем делить будущее планеты. Вероятно, такие насекомые и сорняки обладают диапазоном наследственной изменчивости, позволяющим адаптироваться к быстрым изменениям среды, наступающим в результате ее нарушения, но большинство более крупных растений и животных к этому не способны.

Вмешательство человека часто приводит к снижению разнообразия природных условий. Например, уничтожая различные виды древесных пород в смешанных лесах с целью создания предпочтительных условий для произрастания сосны, используемой в целлюлозной промышленности, человек неизбежно уменьшает число экологических ниш. В результате в образовавшихся чистых сосновых лесах видовое разнообразие животных и растений существенно уменьшается по сравнению с исходным сообществом смешанного леса. Подобное упрощение структуры леса ведет к огромной потере биоразнообразия, как это уже произошло в Финляндии, а в длительной перспективе динамика лесной экосистемы может быть необратимо нарушена.

Помимо полного разрушения, местообитания, раньше занимавшие большие площади, часто разбиваются на маленькие участки дорогами, полями, городами и прочими сооружениями. Фрагментация мест обитания – это процесс, при котором сплошная площадь местообитания одновременно сокращается и распадается на два фрагмента или более. При этом значительно возрастает риск исчезновения локальной популяции вида. Так, площадь участка леса, на котором весной петухи глухаря собираются на ток, должна составлять не менее 5–8 гектаров. Сокращение участков

леса, пригодных для токования, неизбежно приводит к падению численности этого вида.

Фрагментация – первый шаг к вымиранию популяций. В сотнях эмпирических исследований было показано, что независимо от фактической причины вымирания его риск для популяции увеличивается с уменьшением размера популяции. Риск локального вымирания также возрастает с уменьшением площади участка местообитания, поскольку мелкие участки обычно населены небольшими популяциями.

И. Хански [23] исследовал факторы, определяющие вымирание популяций. Было установлено, что локальные популяции образуют так называемые метапопуляции, приуроченные к определенным участкам местообитания, внутри которых локальные популяции обмениваются нерегулярными мигрантами. Для долговременного существования метапопуляции необходимо, чтобы скорость возникновения новых локальных популяций была достаточно высока и компенсировала бы локальное вымирание. Но этого не происходит, если участки местообитания очень малы, что обуславливает высокую скорость вымирания, или если эти участки изолированы, что снижает скорость повторных колонизаций. Порог вымирания – это тот случай, когда повторные колонизации едва восполняют локальное вымирание; ниже порога вымирания метапопуляция вымрет, даже если некоторое количество подходящих местообитаний все еще сохраняется в данном ландшафте.

3.2. Разрушение биоразнообразия

Биоразнообразие включает три ветви: генетическое разнообразие, разнообразие видов и разнообразие экосистем. Утрата тех или иных элементов, а также важных функций в любой из этих ветвей приводит к разрушению биоразнообразия. Чаще всего это происходит вследствие локального вымирания видов или популяций, а также исчезновения с лица Земли крупных таксонов. Все многообразие причин сокращения биоразнообразия в наши дни можно свести к одной всеобъемлющей – влиянию человека на природные экосистемы. Это влияние может быть прямым и стать причиной сокращения или даже полного исчезновения локальных популяций. Однако более серьезные последствия связаны с воздействием человека на сами экосистемы. Биоразнообразие планеты в глобальном масштабе подвержено влиянию глобальных факторов, таких как геологические процессы, изменение климата, нарушение биогеохимических циклов, экспансия прогрессивных биологических групп. Начиная с Антропогенного периода Кайнозойской эры определяющую роль в изменении биоразнообразия стали играть антропогенные факторы и в первую очередь изменение землепользования, то есть использование земель для различных целей, и широкое расселение чужеродных видов [2].

Долговременный тренд за последние 500 млн лет состоял в постепенном эволюционном развитии все более разнообразной биоты. Несмотря на кризисы, которые время от времени сотрясали биосферу, биоразнообразие продолжало расти. Периоды сокращения биоразнообразия в прошлом растягивались на миллионы лет, сохраняя адаптационные возможности экосистем и «подстегивая» биологическую эволюцию. Согласно современным представлениям [1], в фанерозое было восемь массовых вымираний организмов и среди них четыре великих вымирания. Массовые вымирания характеризуются исчезновением в узком интервале геологического времени большого числа таксонов, принадлежащих к различным систематическим и экологическим группам. После каждого кризиса обилие незаполненных ниш и слабая конкуренция вызывали компенсаторные эволюционные преобразования и появление новых групп из уцелевших остатков прежней фауны и флоры.

С приходом человека характер экологических кризисов изменился. Сейчас происходит катастрофический обрыв множества эволюционных стволов, исчезают многие филогенетические ветви, унося с собой информацию о путях развития жизни за миллиарды лет эволюции. По расчетам, ежедневно исчезает порядка 100–200 видов, и в XXI в. исчезнут 50–80% всех видов живых существ, населявших Землю до начала промышленной революции. Это на два порядка выше, чем во времена нескольких прошлых эпох массового вымирания видов, и на три порядка выше, чем «базовый» естественный темп вымирания [25].

Для того чтобы оценить последствия сокращения биоразнообразия для будущего человечества, необходимо учитывать ту роль, которую многие виды животных, растений и микроорганизмов играют в существовании и развитии биосферы [31]. Во-первых, биоразнообразие обеспечивает функционирование и устойчивость экосистем по отношению к внешнему воздействию (стрессу); соответственно, сокращение биоразнообразия приведет к деградации экосистем и невозможности этих последних выполнять свои функции по жизнеобеспечению человечества. Во-вторых, биоразнообразие обеспечивает заданный путь развития экосистем с прогнозируемым конечным состоянием; соответственно, сокращение биоразнообразия приведет к невозможности достижения устойчивого терминального состояния, что неизбежно отразится на территориальном и компонентном равновесии биосферы. В-третьих, биоразнообразие обеспечивает направленный, понятный характер эволюции биосферы, связанный с увеличением продуктивности, ростом многообразия слагающих биосферу экосистем, их территориальным и компонентным равновесием, формированием в результате воздействия биоты на абиотическую среду системы динамической устой-

чивости биосферы. Здесь даже незначительное сокращение биоразнообразия на уровне локальных экосистем неизбежно скажется на равновесии более высоких уровней, что в итоге приведет к нарушению обмена веществ между человеческим обществом и природой. Два первых пути антропогенного воздействия на биоразнообразие могут быть проиллюстрированы на примере тех процессов, которые реализуются на уровне экосистемы. Для оценки последствий сокращения биоразнообразия на уровне биосферы необходимо рассмотреть роль биоразнообразия в формировании биосферной системы динамической устойчивости.

Роль биоразнообразия в функционировании экосистемы

Не существует прямой безальтернативной зависимости между устойчивостью экосистемы и ее видовым богатством, так как существуют и сравнительно устойчивые маловидовые экосистемы, и неустойчивые экосистемы при высоком видовом богатстве. Связь разнообразия и устойчивости экосистем не укладывается в простую формулу: «чем больше разнообразие, тем лучше». Вместе с тем, длинные ряды наблюдений за состоянием экосистем показывают, что биотическое сообщество функционирует таким образом, что удерживает уровень биоразнообразия на оптимальном уровне, не позволяя превысить его. Иное дело – сокращение биоразнообразия; здесь действительно начинаются негативные процессы с далеко идущими последствиями. Только богатое видами сообщество способно обеспечить соответствие прихода и расхода, то есть соответствие между продуцированием органического вещества и его потреблением, и тем самым обеспечить устойчивость экосистемы. Весь вопрос здесь в способности биотического сообщества обеспечить это соответствие в данных условиях. В противном случае экосистема не сможет устоять под влиянием сильного внешнего воздействия и деградирует. Разрушение экосистемы проходит через ряд этапов и завершается нарушением связей между блоками экосистемы, размыканием круговоротов веществ, ростом стохастических процессов, усилением роли «сорных» видов фауны и флоры.

Динамика видового разнообразия сообщества относительно некоторого среднего уровня обеспечивается совместным действием факторов среды и различных форм взаимодействия между видовыми популяциями. Чем выше видовое разнообразие, тем успешнее биотическое сообщество взаимодействует с физической средой, обеспечивая то, что составляет основу жизни (рис. 7): 1) первичную и вторичную продукцию экосистемы, 2) круговорот питательных веществ, 3) устойчивость экосистемы по отношению к внешним воздействиям.

Ключевые блоки, влияющие на качество жизни человека, сформированы теми функциями экосистем,

которые определяются исключительно биоразнообразием. Темными стрелками показаны важнейшие связи: влияние биоразнообразия на функционирование экосистем и через него – на предоставляемые ими услуги, от которых зависит качество жизни человека. Блок «Биоразнообразие» включает уровни биоразнообразия, структура которых показана в рамке. Блок «Экосистемные услуги» включает регулирующие услуги (верхняя рамка), обеспечивающие оказание конкретных услуг (нижняя рамка).

Результат этого взаимодействия состоит в усилении гетеротипических реакций, сохранении минеральных веществ, повышении стабильности и увеличении информации. От того, насколько богато представлены видами уровни консументов первого, второго и т. д. порядков, от того, насколько велика их специализация, зависит полнота использования первичной продукции. В наиболее стабильных сообществах наблюдается равновесие между произведенным за год органическим веществом и его утилизацией значительным числом разнообразных консументов.

Подобно тому как стабильность экосистемы в целом определяется биотическим сообществом, так и эффективность деятельности самого сообщества зависит от информационных возможностей высоких трофических уровней – хищников высокого порядка. В свою очередь, содержание информации возрастает по мере подъема в верхние трофические уровни; именно так следует оценивать сложное поведение хищников, поддержание иерархической структуры группы, разнообразные связи в популяции и т. п. От их деятельности в значительной мере зависит эффективность управления энергетическими потоками в экосистеме. Здесь возможна аналогия с постиндустриальным обществом, в котором решающее значение приобретает не уровень производства (как это было в индустриальную эпоху), а оптимизация управления энергопотоками за счет информационных связей.

Но именно животные, формирующие «блок управления» экосистемы, «страдают» от деятельности человека в первую очередь. Многочисленные исследования показывают, что жертвами антропогенного воздействия в основном становятся виды, для которых характерны крупные размеры особей, большая продолжительность жизни, низкая способность к расселению, узкая специализация к использованию ресурсов и невысокие темпы размножения. Виды с такими свойствами приурочены, как правило, к высоким трофическим уровням и особенно характерны для поздних стадий развития экосистемы, когда после ряда промежуточных стадий надолго устанавливается климаксное сообщество. Такие экосистемы в первую очередь становятся объектом хозяйственной деятельности человека. На смену исчезающим из местной фауны и флоры видам приходят раннесукцессионные

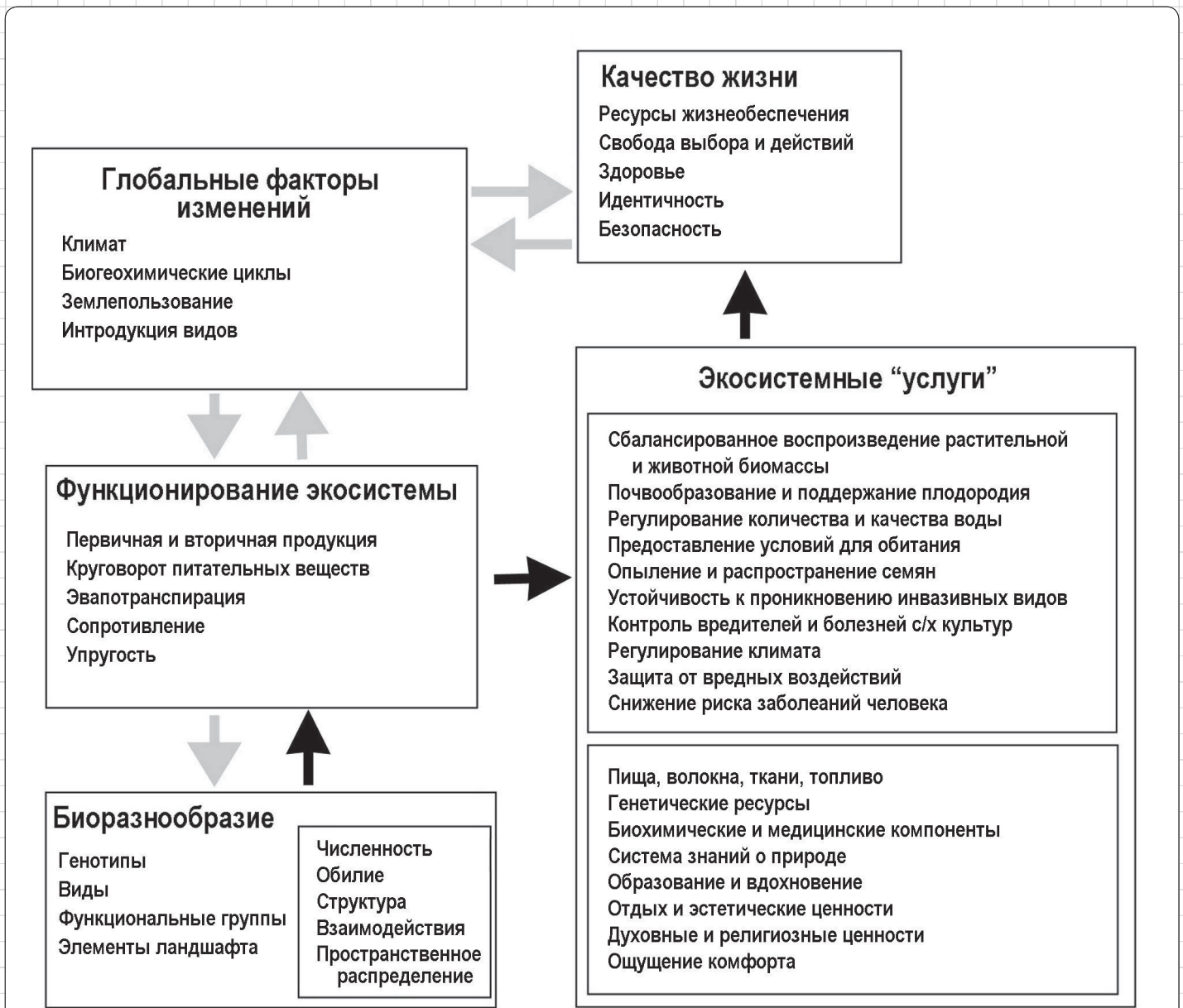


Рис. 7. Влияние биоразнообразия на качество жизни человека и уязвимость биоразнообразия по отношению к глобальным факторам

виды с противоположными характеристиками, которые уже не могут поддерживать полезные функции экосистем. Разрушая блок управления, человек лишает экосистему возможности сопротивляться внешнему воздействию. Иными словами, основной итог хозяйственной деятельности человека состоит в том, что он, разрушая систему устойчивости природных комплексов, делает их уязвимыми по отношению к видам-вселенцам, загрязнениям разного вида, опасным болезням и иным внешним воздействиям.

Без всего того, что входит в понятие биологического разнообразия, невозможно устойчивое функциониро-

вание экосистем и, следовательно, осуществление ими всех тех функций (рис. 7), от которых зависит существование человечества. Структура экосистемных услуг включает три блока жизненно важных услуг: обеспечивающие услуги, регулирующие услуги, услуги культурного характера. Каждый из этих блоков и все вместе в различных комбинациях обеспечивают такие составляющие высокого качества жизни человека, как материальная основа жизни, безопасность, здоровье и оптимальная структура социальных связей. Только при этом условии по-настоящему возможна свобода выбора и действий.

Роль биоразнообразия в развитии экосистемы

Любое биотическое сообщество со временем преобразуется. Его развитие, называемое также экологической сукцессией, проходит через ряд этапов. Каждое сообщество в силу превышения прихода над расходом (превышение продуцирования над утилизацией органического вещества) меняет среду и тем самым создает условия для собственной гибели и процветания следующего за ним сообщества. В процессе сукцессии большинство видов закономерно появляется и исчезает, дав возможность климаксовому сообществу обеспечить наиболее полный круговорот веществ. Скорость преобразований постепенно замедляется, и, наконец, на последнем этапе уже не видно никаких изменений; соответственно, надолго устанавливается терминальное, или климаксовое сообщество, которое находится в равновесии с преобладающими в данной местности условиями среды. Таковы биомы – климаксовые сообщества, достигшие равновесия с региональным климатом в результате развития в наземных условиях.

Сообщества, сменяющие друг друга в процессе развития экосистемы, характеризуются разными признаками. Так, для незрелых экосистем на ранних стадиях экологической сукцессии характерно низкое видовое разнообразие и простые схемы питания: много продуцентов, травоядных животных и мало редуцентов. Растения, в основном однолетние травы, тратят большую часть энергии на продукцию мелких семян для воспроизводства, а не на корневую систему, стебли и листья. Они получают питательный материал, как правило, со стоком из других экосистем, так как сами не могут удерживать и накапливать биогенные вещества.

Зрелые экосистемы, в противоположность незрелым, характеризуются многообразием видов, стабильными популяциями и сложными схемами питания. В системе доминируют редуценты, разлагающие большое количество мертвого органического вещества. Растения представлены крупными многолетними травами и деревьями, дающими крупные семена. Они тратят основную долю энергии и питательных материалов на поддержание корневой системы, ствола, листьев, а не на производство новых растений. Такие экосистемы сами добывают, удерживают и перерабатывают часть биогенных веществ, в которых нуждаются.

Человек, «преобразуя природу», прерывает естественный ход развития экосистемы, препятствует достижению ею устойчивого терминального состояния. Поскольку основным модифицирующим фактором экосистемы является биотическое сообщество, то очевидно, что, чем сильнее нарушена среда, тем выше вероятность того, что развитие экосистемы остановится, не достигнув равновесия с регио-

нальным климатом. Так, например, чрезмерный выпас может породить пустынное сообщество там, где по условиям регионального климата могла бы сохраняться степь. Пустынные сообщества в данном случае – дисклимакс, а степь – климатический климакс. Таким образом, вмешательство человека в процесс развития экосистемы приводит к тому, что биотическое сообщество не достигает равновесия со средой, а сама экосистема становится уязвимой к различного рода местным нарушениям и чаще всего теряет способность к долгому и устойчивому существованию. В итоге структура биосферы оказывается нарушенной – в ней не отражается история развития слагающих ее экосистем различного уровня.

Таков основной вывод, который можно сделать в результате рассмотрения территориального и компонентного равновесия биосферы вследствие антропогенного нарушения естественного хода развития слагающих ее экосистем. Внутри биосферы в норме должны быть территориально сбалансированы экосистемы более низкого порядка. Иными словами, на Земле должно быть необходимое количество тундр, лесов, пустынь и так далее в качестве биомов, а внутри биома тундра должна сохраняться оптимальная тундровость, внутри биома хвойных лесов – оптимальная лесистость, и так до самых мелких биогеоценозов. Значительные преобразования внутри биомов и смещение в них равновесия между экосистемами низшего порядка неминуемо вызывают ответ на более высоком уровне. Это отражается на многих природных процессах – от изменения глубины залегания грунтовых вод до перераспределения воздушных потоков. Аналогичное явление наблюдается и на уровне очень крупных систем биосферы при изменении соотношения между территориями биомов. В ходе освоения земель, в самом широком понимании этого слова, нарушается и компонентное, и территориальное равновесие. До определенной степени это допустимо и даже необходимо, ибо только в неравновесном состоянии экосистемы способны давать полезную продукцию в форме урожая. Но, не зная меры, человек стремится получить больше, чем может дать природа, забывая, что устойчивость экосистем складывается из великого множества элементов, формально не входящих в понятие «ресурсы».

Биоразнообразие и эволюция биосферы

Формирование системы динамической устойчивости биосферы – результат деятельности биоты (рис. 8). С первых шагов развития жизни на Земле живые организмы стали оказывать все возрастающее влияние на физическую среду, преобразуя ее и поставляя в нее источники энергии и вещества. Эволюция биосферы в фанерозое шла, в целом, по пути увеличения степени замкнутости круговоротов веществ и минимизации

их потерь не только в масштабе локальных экосистем, но и в масштабе региональных, континентальных и глобальных комплексов биосферы.

По современным представлениям, жизнь на Земле существует не менее 3,7 млрд лет, а сама планета – около 4,6 млрд. В первые 1,5 млрд лет Земля была населена прокариотами. Благодаря деятельности синне-зеленых водорослей кислород, побочный продукт фотосинтеза, выделялся во внешнюю среду, существенно изменяя ее. До этого времени (ранний докембрий) уровень кислорода в первичной атмосфере поддерживался на уровне 0,1% современного содержания за счет фотодиссоциации воды солнечным ультрафиолетом. Эта концентрация – одна из пороговых вели-

чин в развитии жизни – обеспечивала существование лишь анаэробов. Активно перемещающиеся животные, которым для движения необходимо достаточное количество энергии, возникли, когда уровень кислорода достиг 1% современного содержания (точка *Пастера*) [7]. На это же время (около 1,7 млрд лет назад) приходится бурное развитие бактерий и водорослей, образующих бактериальные маты и водорослевые болота, и, соответственно, повышение фотосинтетического индекса за счет совершенствования работы клеточного фотосинтетического аппарата (рис. 8). Наиболее важна третья пороговая концентрация – 10%, достигнутая, как считают сегодня, в ордовик-силуре (480–410 млн лет назад) с формированием

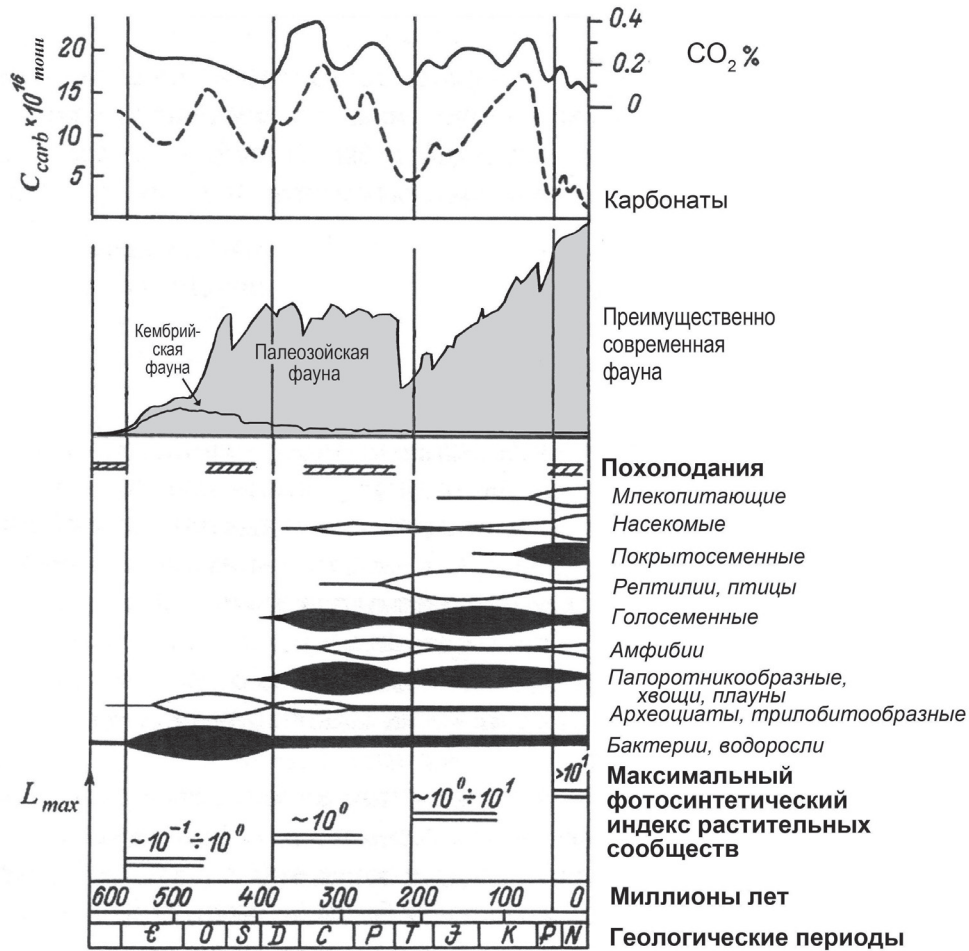


Рис. 8. Изменение характеристик биосферы и смены доминирующих таксонов наземных организмов в течение фанерозоя. По [18] с изменениями и дополнениями.

Эволюция биосферы представлена на схеме как последовательный, прерываемый кризисами (вертикальные линии на схеме), рост биоразнообразия

озонового экрана, позволяющего заселить приповерхностные, наиболее продуктивные части водоемов. До этого пригодным для жизни был узкий слой воды от 10 до примерно 50 метров глубины: выше проникал губительный ультрафиолет, ниже не был возможен фотосинтез и отсутствовал кислород. Именно с ордовика-силура заметны попытки заселения суши.

Освоение суши открывало для продуцентов новые возможности. Прежде всего, вынос на воздух фотосинтетических поверхностей способствовал повышению эффективности транспорта газов, необходимых для фотосинтеза и дыхания растений. Поскольку возможности более эффективного продуцирования органического вещества были исчерпаны к тому времени на молекулярном уровне в связи с возникновением максимально эффективных хлорофиллов, акцент переместился на формирование сложной структуры биогеоценозов в трехмерном пространстве. С освоением наземных и амфибиотических местообитаний предками современных папоротников, хвощей, плаунов и примитивными голосеменными было связано повышение фотосинтетического индекса и, соответственно, увеличение первичной продукции. Следующий этап роста первичной продукции пришелся на триас и был связан с господством на обширных пространствах голосеменных (рис. 8). Наибольшее усложнение структуры растительных сообществ обеспечили покрытосеменные – самая богатая видами группа растений – вплоть до практически полного перехвата солнечной энергии верхними «этажами» сложных растительных сообществ. Решающую роль в этом играл рост биоразнообразия.

И каждый раз смена доминирующих групп растительности следовала одинаковому сценарию: когда на долгом пути исторического развития среда «открывала окно» для активизации биосферных процессов (повышение парциального давления O_2 , рост продуктивности экосистем, экспансия более эффективных продуцентов, увеличение биологического разнообразия, усиление межвидовой конкуренции), преимущество получали биологические группы, способные к активному взаимодействию со средой [21]. Вспышка видообразования и расцвет новых групп неизменно следовали за крупной катастрофой, приводящей к гибели существовавших на тот период экосистем (рис. 8). На фоне разрушенных прежних связей, освободившихся экологических ниш и обострившейся в связи с этим конкуренции заявляли о себе и завоевывали все новые пространства биологические группы, способные быстро реагировать на изменяющуюся среду [8, 9].

За продуцентами следуют консументы, разнообразие которых прямо пропорционально разнообразию и обилию первичной продукции. Сценарий для каждой конкретной группы был свой и складывался из последовательности шагов, поддержанных отбором

и потому ведущих к более успешной эксплуатации среды. Эффективности взаимодействия биотического сообщества со средой способствовала также поддерживаемая отбором все усиливающаяся специализация зависящих друг от друга продуцентов и консументов. На определенном этапе развития экосистемы продуктивность и биологическое разнообразие достигают такого уровня, что у экосистем возникает нужда в «управляющем блоке» – верхних трофических уровнях, представленных специализированными хищниками. Усиливается межвидовая конкуренция, а это, в свою очередь, ведет к расширению сферы действия отрицательной обратной связи и повышению устойчивости экосистемы. Сочетание локальных экосистем, устойчивых и находящихся в равновесии с преобладающими в данном регионе условиями среды, – важный компонент динамической устойчивости биосферы в целом.

В наземных экосистемах на определенной стадии развития поток энергии и веществ рано или поздно (если нет нарушений) начинает проходить через детритную пищевую цепь. Появление постоянно существующего запаса трудно разложимой органики ведет к радикальной перестройке пищевых цепей [7]. С этого времени большая часть вещества и энергии оборачивается через детритные, а не через пастбищные цепи. Возрастает роль редуцентов, круговорот веществ замыкается. В результате создания замкнутых (и управляемых самими экосистемами) круговоротов веществ уменьшался разброс условий внутренней среды экосистем, возрастала динамическая устойчивость экосистем в пространстве и времени. Таким образом, в процессе эволюции биосферы на всех уровнях ее организации неоднократно происходило становление и постоянно шло усиление экологического гомеостаза – динамической устойчивости в пространстве и времени путем поддержания относительного постоянства условий внутренней среды. В климаксных природных экосистемах, где поддерживается равенство прихода и расхода органического вещества, круговороты питательных веществ очень тонко настроены на конкретное сочетание сложившихся условий. Выход вещества из таких круговоротов (главным образом, в естественные геологические круговороты, выступающие в качестве так называемого «резервного фонда») компенсируется за счет внешних поступлений, в том числе из атмосферы, а также за счет приноса продуктов выветривания горных пород, метеоритных выпадений и т. п.

Таким образом, равновесие биосферы поддерживается действием системы динамической устойчивости, в основе которой лежит биотическая регуляция круговорота веществ, «выедания» растительности и численности популяций. Первое, в частности, означает удивительное постоянство (на протяжении сотен

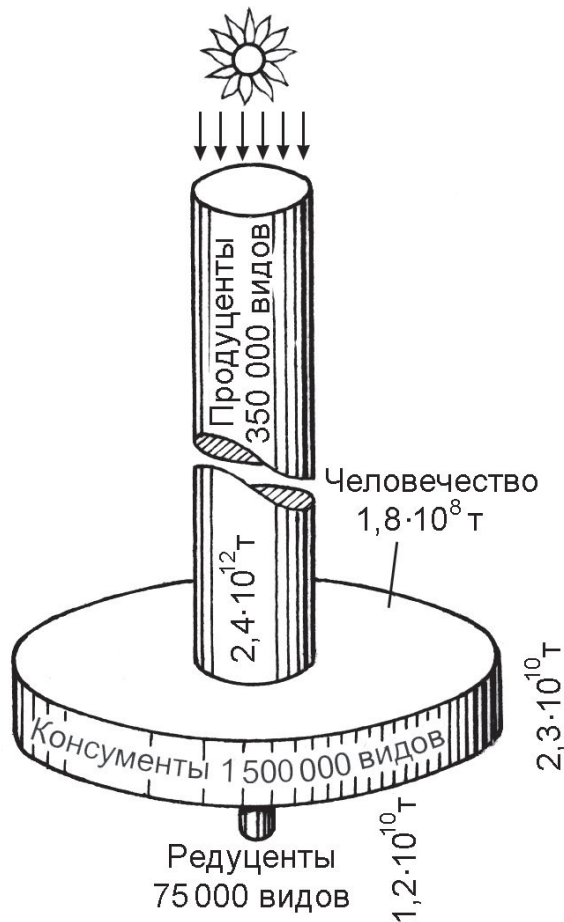


Рис. 9. Глобальная экологическая пирамида.

Принцип построения глобальной экологической пирамиды следующий: каждый из основных трофических уровней (продуценты – консументы – редуценты) изображается в форме цилиндра, высота которого – биомасса, а диаметр – количество видов

миллионов лет) содержания неорганического углерода в атмосфере; второе – обеспечивает использование ресурсов пропорционально их эффективному запасу; третье – предотвращает губительные для биосферы колебания численности популяций. У каждой геологической эпохи было свое равновесное содержание углекислоты в атмосфере и другие характерные параметры круговоротов веществ [17]. Изменения концентрации углекислоты в фанерозое совпадают с изменениями климата и сменой доминирующих все более эффективных продуцентов (рис. 8).

К этому следует добавить территориальное и компонентное равновесие устойчивых, находящихся в равновесии с преобладающими в данном регионе условиями среды локальных экосистем. В равновесии должны находиться не только локальные экосистемы и природные комплексы высокого уровня: биомы, ландшафты, биогеографические области и так далее [3], но и «основные действующие лица»: продуценты, консументы и редуценты. Кроме того, равнове-

сие биосферы не может быть полным, если не сбалансированы все компоненты – от потока энергии, субстрата, атмосферы, вод до биотической совокупности. Последняя является управляющей системой по отношению к абиотической совокупности. В свою очередь, в биотической системе управляющей подсистемой служат консументы, так как от них зависит степень использования первичной продукции и в конечном итоге стабильность системы в целом. По правилу Эшби, управляющая подсистема или управляющая система должна быть организована не менее сложно, чем управляемая; возможно, в этом лежит разгадка тайны, почему на Земле так много видов животных, особенно насекомых. Поэтому глобальная экологическая пирамида имеет вид волчка (рис. 9). При таком способе изображения основных трофических уровней биосферы соотношения диаметров острия, маховика и стержня «волчка жизни» могут быть в разных экосистемах различными, но для того, чтобы волчок не падал, они не могут быть произвольными.

4. РАССТАНОВКА ПРИОРИТЕТОВ

В работах, посвященных проблемам деградации биосферы, нечасто можно встретить попытку обосновать методы и способы выхода из глобального кризиса. Авторы статьи [25] предлагают комплексную программу по восстановлению планетарного баланса с акцентом на стабилизацию биогеохимических циклов. Программа включает ряд важных мер, часть которых уже предпринимается в настоящее время, однако, если судить по сохраняющейся остроте обсуждаемых проблем, без особого успеха. Большинство предлагаемых мер подразумевает высокий уровень развития науки и технологий и потому доступно лишь экономически развитым государствам [24]. Возможности применения этих мер, причем в весьма ограниченных в силу значительной научной и технической сложности масштабах, вновь возвращают нас к популярной в конце прошлого – начале нынешнего века проблеме взаимоотношения стран Севера и Юга.

Попытки сохранения биоразнообразия, усилия индивидуумов, социальных групп и организаций, направленные на спасение редких и исчезающих видов, нередко наталкиваются на прозаическую необходимость сиюминутного получения ресурсов для обеспечения потребностей человеческого общества. Для расстановки приоритетов, определения ближайших задач следует обратить внимание на причины того, что не дает возможности гармонизировать биосферные процессы с нуждами природопользования. Изменение климата, влияние многих других факторов, рассмотренных выше, но прежде всего стремление человека получать неограниченные ресурсы, не считаясь с возможностями биосферы, приводит в итоге к сокращению биоразнообразия и, следовательно, к невозможности нормального функционирования биосферной системы жизнеобеспечения человечества. Подобно тому, как эволюционное развитие биосферы определяется поступательным усложнением структуры биоразнообразия, так и разрушение самого биоразнообразия приводит к «угасанию» биосферы, к утрате ею важных свойств, необходимых для поддержания жизни человека.

Несмотря на отдельные успехи в деле сохранения биоразнообразия, к числу которых можно отнести спасение отдельных видов, популяций, организацию особо охраняемых природных территорий, общая негативная тенденция сокращения биоразнообразия сохраняется. Еще в Йоханнесбурге (2002) на второй международной конференции ООН по окружающей среде и развитию мировые лидеры постановили достичь существенного сокращения темпов утраты биоразнообразия к 2010 г. К настоящему времени стало очевидным, что поставленных целей достичь не удалось.

Итоги реализации намеченной на 2010 г. цели подведены в третьем докладе «Глобальная перспектива

в области биоразнообразия» [6]. Анализ итогов реализации поставленной цели позволяет сделать ряд выводов, которые необходимо учитывать при планировании и координации дальнейшей деятельности, направленной на сокращение утрат биоразнообразия. Основным выводом состоит в том, что меры реагирования на сокращение биоразнообразия в период до 2010 г. ограничивались учетом прямых нагрузок и реакции на них. В то же время недостаточное внимание было уделено первопричинам негативных изменений биоразнообразия, а также тому, насколько сокращение биоразнообразия сказывается на эффективности функционирования экосистем и, следовательно, на качестве услуг, предоставляемых экосистемами. Общая идея доклада о состоянии и перспективах сохранения биоразнообразия состоит в том, что проблему утраты биоразнообразия нельзя рассматривать в отрыве от таких проблем, как борьба с нищетой, улучшение здоровья, обеспечение процветания и безопасности нынешнего и будущих поколений. Достижению каждой из этих целей препятствуют существующие тенденции в состоянии и функционировании наших экосистем. В то же время достижению каждой из них будет способствовать содействие, которое мы окажем биоразнообразию, и то внимание, которого оно заслуживает.

От внимания исследователей ускользала взаимосвязь первопричины, например, растущей потребности населения в ресурсах, с факторами угрозы для биоразнообразия, например, упрощением структуры экосистемы, ее загрязнением и т. п. Как следствие этого, в большинстве случаев первопричины утраты биоразнообразия не устранялись. Положение усугублялось тем, что параллельно с устранением причин сокращения биоразнообразия не принимались меры по обеспечению долгосрочных выгод от «нормально функционирующих» экосистем. Принимавшиеся меры редко соответствовали масштабу и сложности задач, для решения которых они предназначались.

Для того чтобы разорвать или по крайней мере ослабить связь между первопричинами и прямыми нагрузками на биоразнообразие, необходим достаточный учет услуг, предоставляемых экосистемами (см. рис. 7). Представление об экосистемных услугах позволяет по-новому взглянуть на условия сохранения биоразнообразия в зависимости от характера и интенсивности воздействия на экосистемы. Система связей между элементами, определяющими успех в деле сохранения биоразнообразия и прямыми нагрузками на экосистемы (рис. 10), показывает, что сокращение экосистемных услуг автоматически вызывает рост первопричин, то есть вся система действует по принципу обратной связи, где биоразнообразие выступает в роли «рабочего элемента». Отсюда следует вывод о необходимости усиления мер, направленных

на сохранение биоразнообразия как основного условия повышения качества жизни людей.

Единственный способ избежать конфликта между усилиями по сохранению биоразнообразия и человеческими потребностями – следовать принципам устойчивого развития. Подход с позиции концепции устойчивого развития позволяет рассматривать проблемы сохранения биоразнообразия во взаимосвязи и взаимодействии с экономическими и социальными процессами. Такой подход подразумевает необходимость учета в ценообразовании и других рыночных механизмах услуг, которые предоставляют экосистемы. Он также показывает, что интенсивность использования природных ресурсов должна быть сбалансирована с возможностями поддержания функций и жизнеспособности экосистем, так как от услуг, которые они предоставляют, напрямую зависит качество жизни населения. Задача социологов состоит в том, чтобы «соединить» в сознании людей информацию о состоянии экосистем и о том, как это сказывается на качестве их жизни. Особенно остро эта проблема стоит для бедных стран с высоким уровнем рождаемости.

В будущем для обеспечения эффективного сохранения, восстановления и разумного использования биоразнообразия, а также создания условий для эффективной «работы» экосистем предстоит расширить деятельность, переместив ее на новые уровни и в новые масштабы. Для достижения этого предлагается ряд мер, далеко выходящих за рамки сугубо экологических проблем и включающих такие вопросы, как повышение эффективности использования земельных, водных, морских и иных ресурсов, улучшение пространственного планирования для защиты районов, важных с точки зрения сохранения биоразнообразия, ликвидация каналов перемещения инвазивных видов и т. п. Должны быть включены меры экономического и социального характера: использование ценообразования, финансовой политики и других механизмов, позволяющих отразить реальную ценность экосистем, предоставляемые ими услуги в качестве мощных стимулов для изменения тенденций к разрушению. Решающую роль должны сыграть национальные программы или законодательства для создания благоприятных условий для поддержки иници-

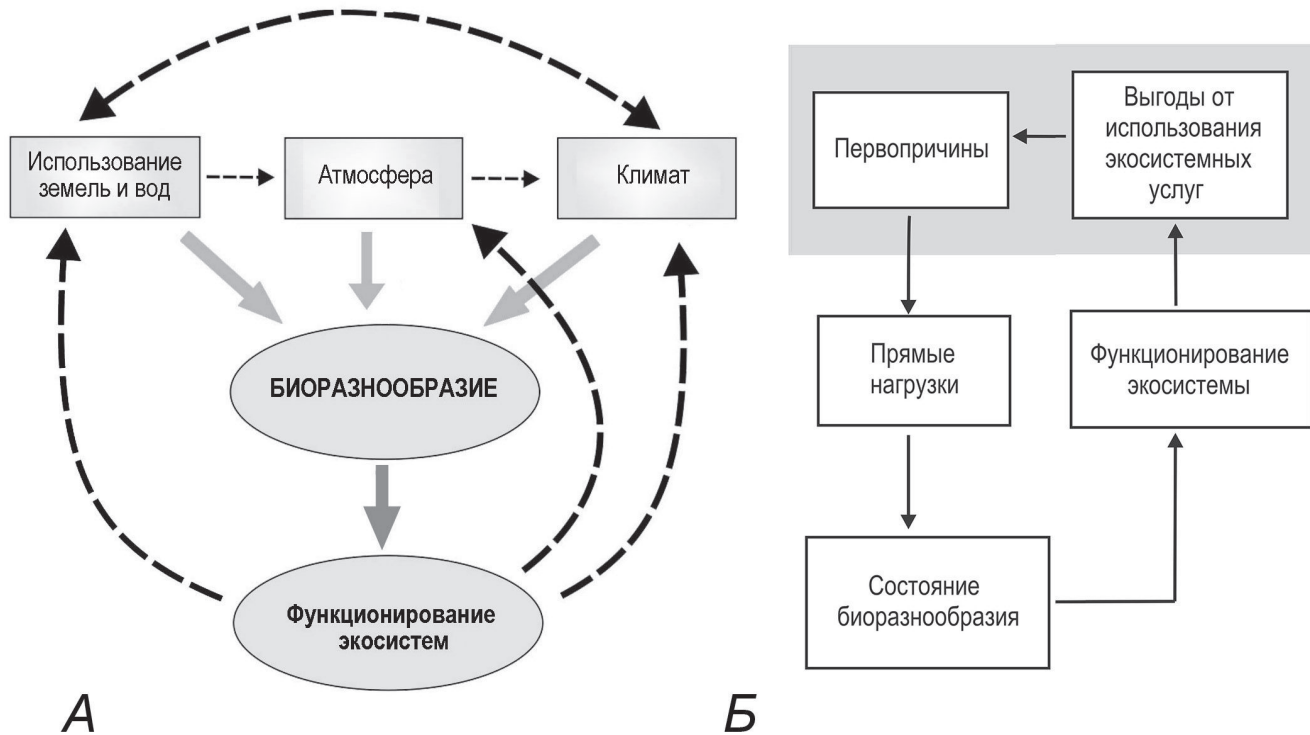


Рис. 10. Контуры обратной связи, определяющей зависимость силы и характера антропогенного воздействия от «функционирования» экосистем, которое, в свою очередь, зависит от состояния биоразнообразия без учета первопричин (А) и с их учетом (Б).

На рис. Б темным выделены элементы обратной связи, которые необходимо учитывать для снижения нагрузки на биоразнообразии

циатив «снизу» при ведущей роли общин, местных органов власти или предприятий. Для выхода из глобального экологического кризиса человеку придется кардинально менять образ жизни и отношение к природе; возрастает роль социологических исследований и экологического просвещения, особенно в странах с быстро растущим населением.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В основе устойчивости биосферы лежит биотическая регуляция круговорота веществ, «выедания» растительности и численности популяций. Все эти качества были сформированы в ходе исторического развития биосферы, которое, хотя и не было гладким, в масштабе геологического времени неизменно сохраняло вектор в направлении повышения биологического разнообразия, вектор – от простого к сложному, от хаотичного к организованному, от случайного к закономерному. И каждый раз на протяжении сотен миллионов лет биосфера снова и снова воспроизводит себя в миллионах локальных экосистем, которые в иерархическом порядке выстраиваются снизу вверх – от локальных экосистем через биомы и биогеографические области до биосферы. Биологическое разнообразие обеспечивает компонентное и территориальное равновесие слагающих биосферу экосистем. Только богатое видами сообщество способно обеспечить равновесие между поступающей энергией и ее использованием и, в свою очередь, через серию этапов ненарушаемого развития обеспечить территориальное равновесие слагающих биосферу компонентов.

В процессе «преобразования природы» человек нарушил эту гармонию. Разум усилил физиологические возможности человека: в отличие от всех иных живых существ человек стал изобретать и использовать множество инструментов и технологий, усиливающих и дополняющих возможности его тела [4]. Результатом деятельности человека стало размыкание естественных биогеохимических циклов, загрязнение среды, глубокая деградация окружающей среды, утрата местообитаний. Разрушение биоразнообразия лишает экосистемы возможности полноценного функционирования, нарушает территориальное и компонентное равновесие биосферы. Угроза истощения природных ресурсов заставила человека сначала задуматься о рационализации процесса природопользования, а затем и о необходимости возобновления природных ресурсов. Деградация природных комплексов делает особенно актуальным воспроизводство экологических ресурсов. Настало время решительных мер, направ-

ленных на возобновление основного экологического ресурса – биоразнообразия. И здесь необходимы не только продуманные действия по сохранению и восстановлению природных экосистем, но и полный отказ от близорукой политики «освоения» таких уязвимых территорий, как Арктика.

Биоразнообразие – своеобразная биологическая матрица, определяющая вектор социального развития. А если это так, то первые шаги должны быть сделаны в направлении сохранения биоразнообразия. Эффективность таких шагов определяется не только тем, насколько полно мы учитываем роль биоразнообразия в обеспечении устойчивости экосистем [29], но и тем, как предпринимаемые нами меры скажутся в конечном счете на самом биоразнообразии [28, 30]. Медлить с этими мерами нельзя – необходимы срочные действия в сфере экологии, экономики и социологии для того, чтобы замедлить темпы разрушения биоразнообразия. Очень важно, чтобы трагедия не застала нас врасплох. А такая возможность есть. На примере модели «лягушка в теплой воде» авторы [25] в аллегорической форме показали опасность постепенного и потому незаметного развития кризисных явлений – вплоть до того момента, когда кризисная ситуация становится необратимой и приводит к разрушению (гибели) системы. Трагический урок с атомной станцией Фукусима свидетельствует о следующем. Современная атомная станция была снабжена совершенной системой жизнеобеспечения, способной выдержать мощное землетрясение. И она бы его выдержала, если бы через некоторое время после начала землетрясения высокая волна не затопила саму систему жизнеобеспечения, лишив станцию возможности сопротивляться губительным процессам. Мы сослались на события 2011 г., чтобы подчеркнуть, насколько опасно лишать природные экосистемы их способности сопротивляться внешнему разрушительному воздействию.

В 2008–2009 гг. правительства многих стран мира оперативно мобилизовали сотни миллиардов долларов, чтобы предотвратить крах финансовой системы, шаткость которой застала рынки врасплох. Сегодня у нас есть четкие факты, предупреждающие о возможной критической точке, к которой мы подталкиваем наши экосистемы, сформировавшие нашу цивилизацию. Небольшой части тех средств, которые мгновенно были выделены на предупреждение экономического кризиса, хватило бы для предотвращения гораздо более серьезного и фундаментального кризиса систем, поддерживающих жизнь на Земле.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Алексеев АС. Типизация фанерозойских событий массового вымирания организмов. Вестн Моск ун-та. 2000;(4):6-14.
2. Бродский АК. Ускользящая реальность. Прошлое, настоящее и будущее биоразнообразия. СПб.: ДЕАН; 2012.
3. Бродский АК. Биоразнообразие: структура, проблемы и перспективы сохранения. В кн.: Аспекты биоразнообразия. М.: Товарищество научных изданий КМК; 2016. с. 380-96.
4. Вернадский ВИ. Биосфера и ноосфера. М.: Наука; 1989.
5. Вернадский ВИ. Живое вещество и биосфера. М.: Мысль; 1994.
6. Глобальная перспектива в области биоразнообразия 3. Монреаль: Секретариат Конвенции о биологическом разнообразии; 2010.
7. Еськов КЮ. История земли и жизни на ней. М.: Изд-во НЦ ЭНАС; 2004.
8. Жерихин ВВ. Эволюционная биоценология: проблема выбора моделей. В кн.: Экосистемные перестройки и эволюция биосферы. М.: Недра; 1994. с. 13-20.
9. Жерихин ВВ. Избранные труды по палеоэкологии и филоценогенетике. М.: Товарищество научных изданий КМК; 2003.
10. Илларионов А, Пивоварова Н. Экономические последствия ратификации Российской Федерацией Киотского протокола. Вопросы экономики. 2004;(11):34-59.
11. Керженцев АС. Функциональная экология. М.: Наука; 2006.
12. Ковалев ЕВ. Глобальная продовольственная проблема. Мировая экономика и международные отношения. 2004;(10):26-34.
13. Кокорин АО, Грицевич ИГ, Сафонов ГВ. Изменение климата и Киотский протокол – реалии и практические возможности. М.; 2004.
14. Кравчук МА, Красков ЮИ, Малинин ВН. Глобальный экологический кризис: стратегия выживания. Общество Среда Развитие. 2009;(1):194-205.
15. Лапенис АГ. Принцип биогеохимической селекции организмов. В кн.: Рассеянные элементы в бореальных лесах. М.: Наука; 2004. с. 293-300.
16. Левченко ВФ. Эволюция биосферы до и после происхождения человека. СПб.: Наука; 2004.
17. Левченко ВФ. Три этапа эволюции жизни на Земле. Lambert Academic Publishing; 2011.
18. Левченко ВФ. Биосфера: этапы жизни (эволюция частей и целого). СПб.: Свое издательство; 2012.
19. Малинин ВН. Что происходит с уровнем Мирового океана? Общество Среда Развитие. 2007;(4):97-102.
20. Медоуз Д, Рандерс Й, Медоуз Д. Пределы роста. 30 лет спустя. М.: ИКЦ Академкнига; 2008.
21. Попов АВ. Глобальная палеоэкология. В кн.: Общая палеоэкология. СПб.: Изд. СПбУ; 2000. с. 109-27.
22. Примак РБ. Основы сохранения биоразнообразия. М.: Издательство НУМЦ; 2002.
23. Хански И. Ускользящий мир. Экологические последствия утраты местообитаний. М.: Товарищество научных изданий КМК; 2010.
24. Яблоков АВ, Левченко ВФ, Керженцев АС. Переход к управляемой эволюции биосферы. Наука в России. 2014;(4):48-54.
25. Яблоков АВ, Левченко ВФ, Керженцев АС. Очерки биосферологии I. Выход есть: переход к управляемой эволюции биосферы. Philosophy & Cosmology. 2015;(14):92-118.

Общий список литературы/Reference List

1. Alekseyev AS. [Typification of Phanerozoic events of the mass extinctions of organisms]. Vestnik Moskovskogo Universiteta. 2000;(4):6-14. (In Russ.)
2. Brodsky AK. Uskolzayushchaya Realnost. Proshloe, Nastoyashchee i Budushchee Bioraznoobraziya. Saint Petersburg: DEAN; 2012. (In Russ.)
3. Brodsky AK. [Biodiversity: structure, problems and perspectives of conservation]. In: Aspekty Bioraznoobraziya. Moscow: Tovarishchestvo Nauchnykh Izdaniy KMK; 2016. p. 380-96. (In Russ.)
4. Vernadsky VI. Biosfera i Noosfera. Moscow: Nauka; 1989. (In Russ.)
5. Vernadsky VI. Zhivoye Veshchestvo i Biosfera. Moscow: Mysl; 1994. (In Russ.)
6. Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Globalnaya perspektiva v oblasti bioraznoobraziya 3. Montreal: The Secretariat; 2010. (In Russ.)
7. Yeskov KYu. Istoriya Zemli i Zhizni na Ney. Moscow: Izdatelstvo NTS ENAS; 2004. (In Russ.)
8. Zherikhin VV. [Evolutionary biocenology: The problem of models selection]. In: Ekosistemnye Perestroyki i Evolyutsiya Biosfery. Moscow: Nedra; 1994. p. 13-20. (In Russ.)
9. Zherikhin VV. Izbrannye Trudy po Paleoekologii i Filotsenogenetike. Moscow: Tovarishchestvo Nauchnykh Izdaniy KMK; 2003. (In Russ.)
10. Illarionov A, Pivovarova N. [The economic consequences of ratification the Kyoto Protocol

- by the Russian Federation]. *Voprosy Ekonomiki*. 2004;(11):34-59. (In Russ.)
11. Kerzhentsev AS. *Funktionalnaya Ekologiya*. Moscow: Nauka; 2006. (In Russ.)
 12. Kovalev YeV. [The global food problem]. *Mirovaya Ekonomika i Mezhdunarodnye Otnosheniya*. 2004;(10):26-34. (In Russ.)
 13. Kokorin AO, Gritsevich IG, Safonov GV. *Izmenenie Klimata i Kiotskiy Protokol – Realii i Prakticheskiye Vozmozhnosti*. Moscow; 2004. (In Russ.)
 14. Kravchuk MA, Kraskov YuI, Malinin VN. [The global environmental crisis: a survival strategy]. *Obshchestvo Sreda Razvitiye*. 2009;(1):194-205. (In Russ.)
 15. Lapenis AG. [The principle of biogeochemical selection of organisms]. In: *Rasseyannye Elementy v Borealnykh Lesakh*. Moscow: Nauka; 2004. p. 293-300. (In Russ.)
 16. Levchenko VF. *Evolyutsiya Biosfery do i Posle Proiskhozhdeniya Cheloveka*. Saint-Petersburg: Nauka; 2004. (In Russ.)
 17. Levchenko VF. *Tri Etapy Evoliutsii Zhizni na Zemle*. Lambert Academic Publishing; 2011. (In Russ.)
 18. Levchenko VF. *Biosfera: Etapy Zhizni (Evolyutsiya Chastey i Tselogo)*. Saint Petersburg: Svoye Izdatelstvo; 2012. (In Russ.)
 19. Malinin VN. [What happens to the level of the ocean?]. *Obshchestvo Sreda Razvitiye*. 2007;(4):97-102. (In Russ.)
 20. Meadows D, Randers Y, Meadows D. *Predely Rosta. 30 Let Spustya*. Moscow: IKTs Akademkniga; 2008. (In Russ.)
 21. Popov AV. [Global paleoecology]. In: *Obshchaya paleoekologiya*. Saint Petersburg: Izdadelstvo SPbU; 2000. p. 109-27. (In Russ.)
 22. Primak RB. *Osnovy Sokhraneniya Bioraznoobraziya*. Moscow: Izdatelstvo NUMTs; 2002. (In Russ.)
 23. Khanski I. *Uskolzayushchiy Mir. Ekologicheskiye Posledstviya Utraty Mestoobitaniy*. Moscow: Tovarishestvo Nauchnykh Izdaniy KMK; 2010. (In Russ.)
 24. Yablokov AV, Levchenko VF, Kerzhentsev AS. [The transition to a controlled evolution of the biosphere]. *Nauka v Rossii*. 2014;(4):48-54. (In Russ.)
 25. Yablokov AV, Levchenko VF, Kerzhentsev AS. [Essays of Biospherology 1. There is a way: the transition to a controlled evolution of the biosphere]. *Philosophy & Cosmology*. 2015;(14):92-118. (In Russ.)
 26. Carson R. *Silent Spring*. Harmondsworth: Penguin Books Ltd.; 1982.
 27. Ehrlich PR. *The Population Bomb*. N.Y.: A Sierra Club-Ballantine Book; 1968.
 28. Fordham DA, Akçakaya HR, Alroy J, Saltré F, Wigley TML, Brook BW. Predicting and mitigating future biodiversity loss using long-term ecological proxies. *Nature Climate Change*. 2016;6:909-16.
 29. Isbell F, Craven D, Connolly J, Loreau M, Schmid B, Beierkuhnlein C, Bezemer TM, Bonin C, Brulheide H, de Luca E, Ebeling A, Griffin JN, Guo O, Hautier Y, Hector A, Jentsch A, Kreyling J, Lanta V, Manning P, Meyer ST, Mori AS, Naeem S, Niklaus PA, Polley HW, Reich PB, Roscher C, Seabloom EW, Smith MD, Thakur MP, Tilman D, Tracy BF, van der Putten WH, van Ruijven J, Weigelt A, Weisser WW, Wilsey B, Eisenhauer N. Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. *Nature*. 2015;526:574-7.
 30. Phelps J, Webb EL, Adams WM. Biodiversity co-benefits of policies to reduce forest-carbon emissions. *Nature Climate Change*. 2012;2:497-503.
 31. Yablokov AV, Ostroumov SA. *Conservation of Living Nature and Resources: Problems, Trends and Prospects*. Berlin: Springer Verlag; 1991.

