

Благоприятные для человека условия жизни на Земле поддерживаются за счёт непрерывной работы природных экосистем. Эффективность механизмов биосферной регуляции обеспечивается биологическим разнообразием на глобальном, биоценотическом, видовом и популяционном уровнях. Современные масштабы разрушения живого покрова планеты заставляют выдвинуть в качестве стратегической цели сохранение имеющихся природных систем. Задача статьи - привлечь внимание научной общественности к необходимости сохранения биологического разнообразия как основы стабильности биосферы.

## БИОРАЗНООБРАЗИЕ И ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

Д. С. Павлов, Е. Н. Букварёва

4 августа 2005 г. капитан экипажа шаттла "Discovery" Эллен Коллинз передала с орбиты, что шокирована открывшимся ей зрелищем ущерба, который человек нанёс природе Земли [1]. Благодаря проекту "Google Earth" [2] сегодня в этом может убедиться каждый, кто имеет доступ в Интернет. На рубеже тысячелетий со всей очевидностью обнаружилось, что XX в. стал не только эрой научно-технической революции, но и эпохой массированного разрушения живого покрова Земли, самого сильного за всю историю человечества.

### ТРЕВОЖНЫЕ ИТОГИ ТЫСЯЧЕЛЕТИЯ

Начиная с 1972 г. раз в 10 лет ООН проводит конференции по проблемам окружающей среды и глобального развития. Наиболее важные документы были приняты в 1992 г. в Рио-де-Жанейро: "Повестка дня на XXI век" [3], провозгласившая

концепцию устойчивого развития, и Конвенция о биологическом разнообразии<sup>1</sup> [4].

К сожалению, через 10 с лишним лет после принятия этих документов приходится признать, что значимых успехов на пути к прекращению деградации биосферы не достигнуто [5]. Итоговый доклад международного проекта "Оценка экосистем на пороге тысячелетия" [6], опубликованный в 2005 г., убедительно доказывает, что утрата природных экосистем и биоразнообразия идёт высокими темпами и приобрела глобальные масштабы. К настоящему времени практически все наземные экосистемы претерпели глубокие изменения в результате деятельности человека, в благоприятных для жизни и ведения сельского хозяйства природных зонах люди трансформировали и используют от 20 до 75% территории [6]. Продуктивных природных экосистем на планете осталось совсем мало: это видно, если с карты мира убрать пустыни, полупустыни, ледники, а также сильно изменённые человеком территории (рис. 1).

Одновременно с сокращением площади живого покрова Земли происходит его упрощение. Последний обобщающий доклад, подготовленный в рамках Конвенции по биоразнообразию [7], в очередной раз предостерегает: богатство жизни сокращается на всех уровнях её организации - от генетического разнообразия внутри отдельных популяций до разнообразия видов и экосистем в биосфере. Темпы этого разрушительного про-



Авторы работают в Институте проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН. ПАВЛОВ Дмитрий Сергеевич – академик, директор института. БУКВАРЁВА Елена Николаевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник.

<sup>1</sup> Согласно конвенции, *биологическое разнообразие* означает вариабельность живых организмов из всех источников, включая, среди прочего, наземные, морские и иные водные экосистемы и экологические комплексы, частью которых они являются; это понятие включает в себя разнообразие в рамках вида, между видами и разнообразие экосистем. Однако термин "биоразнообразие" часто употребляется и в более широком смысле - для обозначения самих биосистем с акцентом на характеристиках их разнообразия. В данной статье авторы используют его именно в таком расширительном смысле.

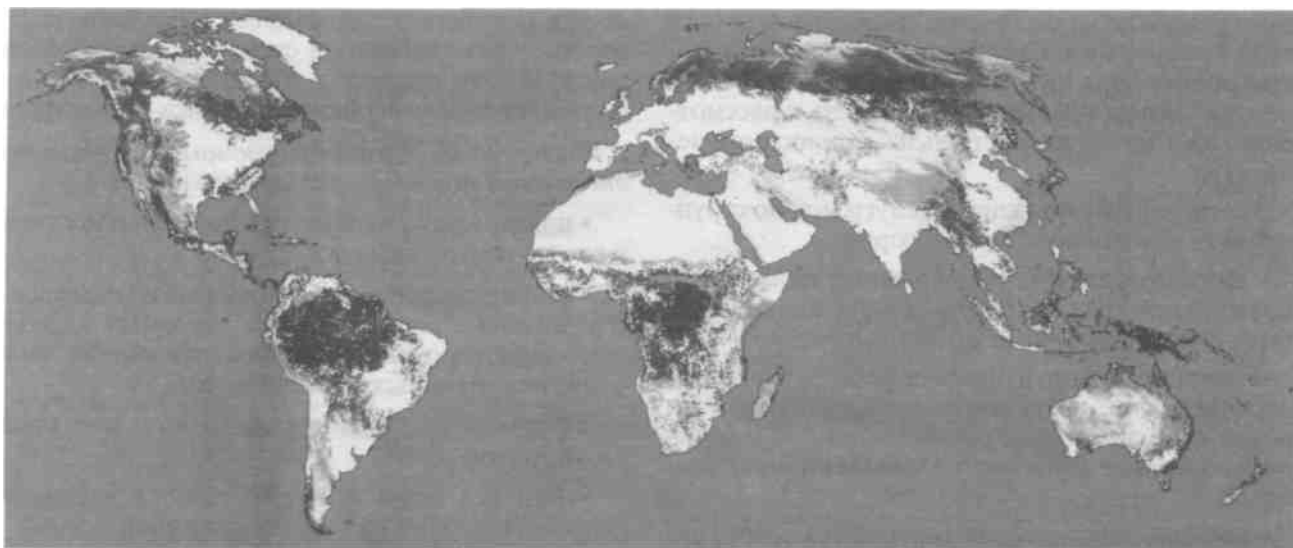


Рис. 1. Сохранившиеся массивы продуктивных природных экосистем суши

Белым цветом обозначены малопроductive территории (пустыни, полупустыни, ледники), а также территории, более трети которых изменено и используется человеком (по данным [6]); серым цветом показаны травянистые и кустарниковые сообщества, черным – леса. Карта подготовлена на основе данных Global Land Cover 2000 (<http://www.gvm.jrc.it/glc2000/ProductGLC2000.htm>)

цесса не снижаются. Одним из глобальных индикаторов состояния биоразнообразия является Индекс живой планеты, обобщенно показывающий тенденции изменения численности позвоночных животных в мире. Сегодня он включает данные примерно о 3600 популяциях для 1300 видов в наземных, пресноводных и морских экосистемах разных регионов Земли. С 1970 по 2003 г. этот показатель снизился на 30% [8].

Исчезновение видов - это необратимый процесс обеднения биосферы. Их распределение на Земле становится всё более гомогенным вследствие утраты местных форм и локальных эндемиков и широкого распространения чужеродных видов. Сейчас под угрозой исчезновения, согласно критериям МСОП (Всемирного союза охраны природы), находится от 10 до 50% видов среди хорошо изученных групп растений и животных [9]. Масштабы потерь в малоизученных группах организмов точно оценить невозможно, поскольку подавляющая часть видов исчезает, оставшись науке неизвестной<sup>2</sup>. Происходящее позволяет говорить о "шестом массовом вымирании" (сотни ссылок на соответствующие публикации можно найти на сайте "The current mass extinction" <http://www.well.com/~davidu/extinction.html>).

Таким образом, биосфера разрушается в двух направлениях, взаимно усиливающих друг друга: с одной стороны, живая оболочка планеты становится меньше по площади и объёму, природные

экосистемы замещаются антропогенными территориями, уменьшаются численность и ареалы видов и популяций, снижается биомасса сообществ; с другой стороны, нарушается структура сохранившихся природных систем, утрачивается видовое и внутривидовое разнообразие, происходит упрощение и гомогенизация живого покрова.

Воздействие человека на биосферу продолжает нарастать. По оценкам экспертов из "Global Footprint Network" [8], оно уже превысило критический уровень, который биосфера способна компенсировать. Использование возобновляемых природных ресурсов (глобальный "экологический след"<sup>3</sup>) с 1961 по 2001 г. увеличилось в 2.5 раза и сегодня на 25% превышает суммарную биологическую продуктивность Земли. Критический рубеж был пройден в конце 1980-х годов. Сегодня ресурсы биосферы расходуются быстрее, чем они могут восстанавливаться.

## СРЕДООБРАЗУЮЩИЕ ФУНКЦИИ БИОРАЗНООБРАЗИЯ

Представление об экосистемных функциях для биологов не является чем-то новым, оно формировалось одновременно с понятием "экосистема", обозначая её интегральное влияние на окружающую среду (например, связывание углерода и

<sup>2</sup> Сегодня науке известно 1.7-2 млн. видов живых организмов, что составляет лишь малую часть видового разнообразия Земли, которое по разным оценкам достигает 5-30 млн. видов.

<sup>3</sup> "Экологический след" - индекс, показывающий степень потребления людьми ресурсов биосферы. Он выражается через площадь территории или акватории со средней для Земли биологической продуктивностью ("глобальные гектары"), которая необходима для производства возобновляемых ресурсов, потребляемых людьми, и утилизации производимых ими отходов [8].

аккумуляция воды болотами, снижение скорости ветра в лесу и т.д.). Стремление дать экономическую оценку этих функций привело к появлению понятия "экосистемных услуг", то есть к рассмотрению их с точки зрения пользы, приносимой человеку.

Экосистемные функции и услуги можно сгруппировать в три основные категории:

- формирование и поддержание параметров окружающей среды, пригодных для жизни человека - *средообразующие функции*<sup>4</sup>;
- биомасса, которую человек берёт из природы (морепродукты, древесина, корма, топливо, сырьё для фармацевтики и промышленности и др.), - *продукционные функции и "экосистемные товары"*;
- информация, которая содержится в природных системах, их культурное, научное и образовательное значение - *информационные и духовно-эстетические функции*.

Ключевое значение для человечества имеют средообразующие функции природных экосистем (другие названия - биосферные, жизнеобеспечивающие). Современные условия жизни на Земле, пригодные для существования человека, - результат эволюции и непрерывной работы живой природы на протяжении миллиардов лет. Самый яркий пример всем хорошо известен: кислородная атмосфера Земли создана и сохраняется благодаря деятельности фотосинтезирующих организмов. Теория биотической регуляции, разработанная российскими учёными [10-12] в русле идей В.И. Вернадского о биосфере, убедительно доказывает, что состояние атмосферы, гидросферы и климата Земли поддерживается миллионами видов живых организмов. Если их работа прекратится, планета перейдет в одно из двух физически устойчивых состояний, одинаково непригодных для сложных форм жизни, - состояние полного испарения воды или полного оледенения.

Масштабы влияния живых систем на формирование характеристик нашей планеты ещё далеко не изучены. Например, концепция организованности подземной биосферы, разработанная при поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН "Научные основы сохранения биоразнообразия России", существенно раздвинула представления о границах активности живых организмов в глубь земных недр. Было показано, что органическое вещество литосферы образуется не только из захороненной биомассы,

но и в результате хемосинтеза в бактериальных сообществах глубоких и сверхглубоких горизонтов [13]. Эти процессы вносят вклад также и в формирование углеродного баланса в атмосфере.

Основными *средообразующими функциями экосистем* можно считать следующие:

- поддержание параметров земной атмосферы и глобального климата;
- стабилизация среды в локальном масштабе - сглаживание экстремальных погодных явлений (снижение вероятности и силы наводнений, засух и других стихийных катаклизмов);
- формирование плодородных почв и их защита от эрозии;
- очистка воды и поддержание устойчивого гидрологического режима территорий;
- биологическая переработка и обезвреживание многих типов отходов и загрязнений.

Одна из важнейших экосистемных функций - регуляция климата. Огромную роль в этом играет Мировой океан, но в данной статье мы рассматриваем лишь наземные экосистемы, наглядно демонстрирующие неразрывную связь процессов деградации биоразнообразия и утраты экосистемных функций.

Последний саммит ООН по устойчивому развитию (Йоханнесбург, 2002) признал, что сегодня среди первостепенных проблем человечества - неблагоприятные последствия климатических изменений, рост частоты и силы стихийных бедствий [14]. Экономический ущерб от них год от года нарастает и в 2005 г. достиг беспрецедентного уровня, превысив 200 млрд. долл. США [5] (рис. 2).

Специалисты из разных областей науки предложили большое количество гипотез (включая астрономические и геологические) относительно механизмов колебаний климата Земли. Идут споры о том, что является ведущей причиной современных климатических изменений - деятельность человека или природные процессы<sup>5</sup>. Однако вне зависимости от того, как будет решён этот "большой климатический спор", очевидно, что один из мощнейших факторов, влияющих сегодня на климат, - антропогенное разрушение природных экосистем. Даже если первичным двигателем климатических изменений являются геологические или астрономические факторы, деятельность человека сильнее всего модифицирует этот процесс.

<sup>4</sup> В последних документах секретариата Конвенции по биологическому разнообразию и в докладах проекта "Оценка экосистем на пороге тысячелетия" [6] средообразующие услуги разделены на две группы: "регулирующие услуги" - выгоды, получаемые от регулирования экосистемных процессов, и "поддерживающие услуги" - услуги, необходимые для производства всех других экосистемных услуг.

<sup>5</sup> 2 февраля 2007 г. был опубликован отчёт рабочей группы по научным аспектам климатической системы Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), в котором сделан однозначный вывод: современные климатические изменения - результат деятельности человека [15].

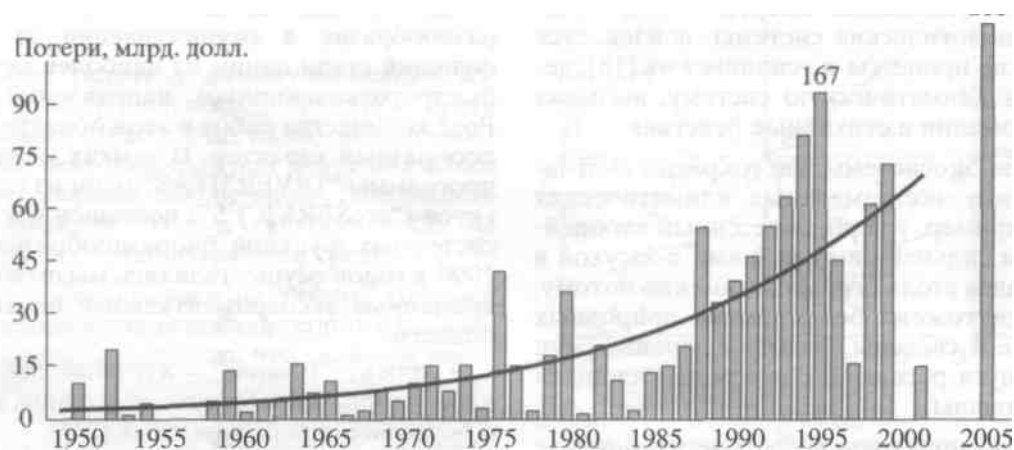


Рис. 2. Экономические потери от стихийных бедствий (по данным [3])

Масштабные антропогенные преобразования природных экосистем оказывают влияние на климатическую систему Земли двумя основными путями: за счёт сдвига газового баланса атмосферы и в результате изменения физических характеристик земной поверхности.

Наиболее бурно обсуждаемая сегодня причина климатических изменений - рост концентрации в атмосфере парниковых газов. Основное внимание приковано к Киотскому протоколу, который утверждает необходимость сокращения выбросов углерода в атмосферу вследствие сжигания топлива. В то же время в тени остаются не менее важные факторы - уничтожение природных экосистем и нерациональное землепользование. В результате действия этих факторов в атмосферу выброшено больше углерода, чем общемировой промышленностью [16, 17]. Но ещё опаснее то обстоятельство, что, уничтожая природные экосистемы, человек разрушает естественный механизм фиксации атмосферного углерода, который мог бы компенсировать его антропогенные выбросы. Ведь  $\text{CO}_2$  - это не загрязнитель, а такой же "газ жизни", как и кислород, и если глобальная экосистема окажется не в состоянии адекват-

но ответить на рост его концентрации увеличением его поглощения, то виноват в этом будет человек, уничтожающий живой покров планеты.

Сохранившиеся природные экосистемы (прежде всего почва и фитомасса) продолжают выполнять роль огромных резервуаров углерода, причём, по оценкам Межправительственной группы экспертов по изменению климата, наибольшие его накопления находятся в бореальных лесах. Поэтому разрушение этих экосистем приведёт к дополнительному выбросу значительного количества углерода в атмосферу. Серьёзную опасность представляет усиление эмиссии углекислого газа и метана болотами, тундрами и бореальными лесами в результате процессов, вызванных потеплением климата, - деградации мерзлоты, ускорения разложения органики и повышения частоты пожаров.

Ещё одна важная причина современных климатических аномалий - нарушение баланса тепло- и водообмена на суше. Природная растительность, в первую очередь леса, оказывает увлажняющее и охлаждающее воздействие на приземную атмосферу. В знойный день мы стремимся перебраться с раскаленного асфальта или пыльного поля под прохладную тень деревьев - так мы на себе ощущаем микроклиматическую функцию леса. Но сегодня место лесов заняли сельскохозяйственные угодья, техногенные и урбанизированные территории, причём в масштабах, сопоставимых с площадью целых континентов, что привело к климатическому эффекту глобального характера. Показано, что изменение процессов тепло- и водообмена на суше - не менее значимая причина подъёма средней температуры приземного слоя воздуха, чем парниковый эффект [18].

В результате глобального преобразования природы человеком биомасса наземной растительности уменьшилась почти в 2 раза по сравнению с

<sup>6</sup> К основным парниковым газам в атмосфере Земли относятся пары воды ( $\text{H}_2\text{O}$ ), углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ), закись азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ), метан ( $\text{CH}_4$ ), озон ( $\text{O}_3$ ), гексафторид серы ( $\text{SF}_6$ ), гидрофторуглероды (ГФУ) и перфторуглероды (ПФУ). В последнем отчёте рабочей группы МГЭИК констатируется, что наибольший вклад в изменение климата вносит углекислый газ, затем идут метан, галоидуглероды и закись азота [15].

За всю историю человечества выбросы углерода в атмосферу из-за разрушения природных экосистем (прежде всего распахки степей и сведения лесов) составили 180 млрд. т, а промышленные выбросы (до 1980 г.) - 160 млрд. т [16]. За период 1991-1994 гг. поток углерода в атмосферу в результате разрушения экосистем и ведения сельского хозяйства достиг 6.7 Гт/год, а вследствие сжигания топлива - 5.9 Гт/год [17].

естественными условиями. Энергия, которую не осваивают биологические системы, вовлекается в абиотические процессы и усиливает их [18], дестабилизируя климатическую систему, вызывая погодные аномалии и стихийные бедствия.

Природные экосистемы многократно смягчают последствия экстремальных климатических явлений. Например, ущерб, нанесённый европейским странам сильнейшими ливнями и засухой в 2005 г., оказался столь огромным именно потому, что здесь уничтожено большинство природных экосистем: леса сведены, болота осушены, реки спрямлены, луга распаханы, огромные площади заасфальтированы.

Необходимо подчеркнуть, что регулирование климата - лишь одна из множества средообразующих функций природных экосистем. Соответственно и последствия их разрушения многогранны: это эрозия и деградация почв, опустынивание, сокращение источников чистой пресной воды и др.

Человек продолжает уничтожать природные экосистемы, в то время как заменить естественные механизмы биосферной регуляции нечем. Искусственное удержание неустойчивой биосферы в пригодном для человечества состоянии - непосильная для современной цивилизации задача. Это наглядно продемонстрировали непомерно дорогие эксперименты "Биосфера-2" и по созданию искусственной среды обитания человека на космических станциях [19]. Заменить биотическую регуляцию техническими средствами сегодня невозможно, поскольку сложность и объём потоков информации в биосфере на много порядков превосходят параметры всех современных технических систем [20]. Биосфера Земли - это единственная система жизнеобеспечения человечества в настоящем и обозримом будущем.

## БИОРАЗНООБРАЗИЕ И ЭКОСИСТЕМНЫЕ ФУНКЦИИ

**Биоразнообразие - важнейший фактор функционирования экосистем.** Сегодня к убеждению, что исчезновение видов - это невосполнимая потеря генетических ресурсов, добавилось также осознание того, что этот процесс может иметь гораздо более серьёзные последствия - утрату видами их экосистемных функций. Уникальность каждого вида заключается не только в его генофонде, но и в той роли, которую он выполняет в экосистеме. Представление о том, что функционирование экосистем определяется разнообразием (составом и обилием) входящих в них видов, давно включено в учебники по экологии. Однако нарастающее уничтожение живой природы заставляет искать дополнительные аргументы в пользу сохранения биоразнообразия.

За последние 20 лет исследования роли биоразнообразия в осуществлении экосистемных функций стали одним из наиболее актуальных и быстроразвивающихся направлений экологии. Рост количества работ в этой области имел лавинообразный характер. В рамках международной программы "DIVERSITAS" один из главных проектов ("ecoSERVICES") посвящен изучению экосистемных функций биоразнообразия. С начала 1990-х годов осуществлялись масштабные долгосрочные экспериментальные проекты в этой области:

- проект "Ecotron" - изучение искусственных лабораторных сообществ, состоящих из растений и беспозвоночных животных [21];
- программа долгосрочных экологических исследований в США (LTER - Long Term Ecological Research) [22];
- проект "BIODEPTH" (BIODiversity and Ecosystem Processes in Terrestrial Herbaceous Ecosystems) - эксперименты с травянистыми сообществами разных природных зон в восьми странах Европы [23].

Эти и другие многочисленные исследования, несмотря на существенные различия конкретных результатов, в целом доказали, что биоразнообразие является ключевым фактором поддержания экосистемных функций [24, 25, 26]. Это проявляется в двух основных формах.

1. Экспериментальное уменьшение разнообразия видов или их функциональных групп вызывает снижение интенсивности экосистемных функций, в качестве показателей которых чаще всего используются суммарная биомасса сообщества, интенсивность дыхания и продуктивность. Для объяснения этой зависимости были предложены два механизма:

- эффект выборки, предполагающий, что с ростом числа видов повышается вероятность присутствия среди них наиболее продуктивных форм;
- комплементарный эффект, основанный на разделении экологических ниш и более полном использовании ресурсов в сообществе с большим числом видов.

2. Биоразнообразие способствует устойчивости (упругости, надёжности) экосистемных функций. Для объяснения этого эффекта были предложены следующие основные механизмы:

- асинхронный и разнонаправленный ответ разных видов на колебания условий среды;
- стабилизация суммарной биомассы сообщества, обусловленная конкуренцией видов, вследствие которой увеличение численности какого-либо вида ведёт к сокращению численности его конкурентов;
- "арифметический" эффект стабилизации при увеличении суммарной биомассы сообщества: если абсолютные значения амплитуды колебаний

сохраняются, то их относительные показатели уменьшаются;

- "страховая" гипотеза, подразумевающая, что часть видов функционально дублирует друг друга (так называемые избыточные виды), но при изменениях среды некоторые из них могут оказаться более эффективными, обеспечивая стабильность суммарной функции (то есть сообщество как бы страхует себя на случай изменений среды).

Таким образом, получен результат, который имеет критическое значение для теории и практики охраны природы: доказано, что *снижение видового разнообразия, вызванное действиями человека, ведёт к деградации и дестабилизации экосистемных функций*. Поэтому огромную опасность представляет не только полное уничтожение природных экосистем, но также снижение в них биологического разнообразия и нарушение их естественной структуры. В частности, один из важнейших результатов антропогенных нарушений – замена зрелых природных сообществ ранними сукцессионными стадиями и различными вариантами вторичных сообществ. Так, подавляющая часть сохранившихся в развитых странах лесов – это вторичные сообщества или лесопосадки. Биоразнообразие и суммарная биомасса (на единицу площади) вторичного европейского леса в 2 раза меньше, чем в ненарушенном лесу, а у лесопосадок эти показатели ещё ниже [16]. Для разных сообществ (тундровых, лесных, степных) показано, что запас фитомассы на ранних сукцессионных стадиях многократно меньше, чем в зрелых сообществах [27]. Главная опасность заключается в том, что при этом снижаются их экосистемные функции. Другие формы антропогенных нарушений природных экосистем, например загрязнения, также ведут к снижению экосистемных функций.

Ключевое значение биоразнообразия для поддержания стабильности окружающей среды и устойчивого развития общества подчеркивается в Конвенции о биологическом разнообразии [4], Национальной стратегии сохранения биоразнообразия России, докладе "Оценка экосистем на пороге тысячелетия" [6]. Экологическая доктрина Российской Федерации, одобренная Правительством РФ в 2002 г., в качестве одной из основных задач государственной экологической политики определяет "сохранение и восстановление ландшафтного и биологического разнообразия, достаточного для поддержания способности природных систем к саморегуляции и компенсации последствий антропогенной деятельности".

**Характер зависимости экосистемных функций от разнообразия биосистем.** Вопрос о характере зависимости экосистемных функций от биоразнообразия имеет не только теоретическое, но и важное практическое значение, поскольку эта зависимость определяет темпы изменения экоси-

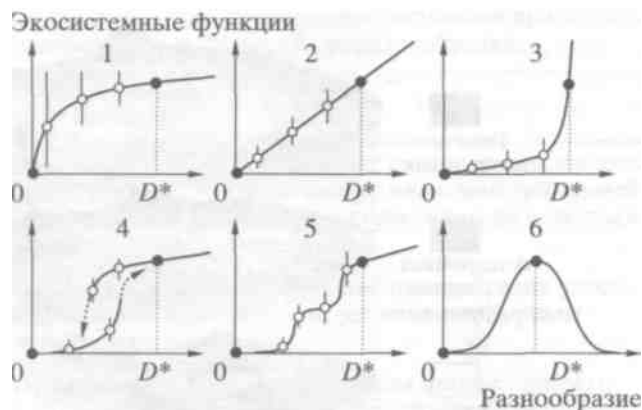


Рис. 3. Гипотезы о форме зависимости экосистемных функций от биоразнообразия ( $D^*$  – естественный уровень разнообразия)

стемных функций в результате антропогенных и естественных трансформаций биоразнообразия. По этому поводу выдвинуто несколько десятков гипотез [28], которые можно объединить в три группы.

1. Виды в значительной степени функционально дублируют друг друга. Вследствие этого при наличии большого числа видов экосистемные функции мало меняются при изъятии (добавлении) любого из них, но по мере сокращения числа видов эффект от каждой утраты становится всё более сильным. Зависимость имеет асимптотический вид (1 на рис. 3), что чаще всего выявляется в экспериментах и обследовании сообществ [26].

2. Виды выполняют в сообществе совершенно разные функции, поэтому изъятие/добавление любого из них существенно влияет на экосистемные функции. Примеры: линейная зависимость при равном вкладе всех видов в функционирование сообщества и гипотеза "ключевых видов", предполагающая, что их утрата сразу ведёт к заметным нарушениям (2 и 3 на рис. 3).

3. Воздействие видов на экосистемные функции зависит только от их свойств, а не от их числа. Изменение функций при изъятии/добавлении видов непредсказуемо.

Кроме того, высказывались предположения о ступенчатом характере изменения экосистемных свойств (5 на рис. 3) и о различной форме зависимости при росте и убывании разнообразия (4 на рис. 3).

В качестве ещё одной гипотезы можно рассматривать *принцип оптимального разнообразия биосистем*, сформулированный в исследованиях по программе Президиума РАН "Научные основы сохранения биоразнообразия России" [29]. В его основе лежит предположение о том, что жизнеспособность и эффективность биосистем максимальны при некоторых оптимальных зна-

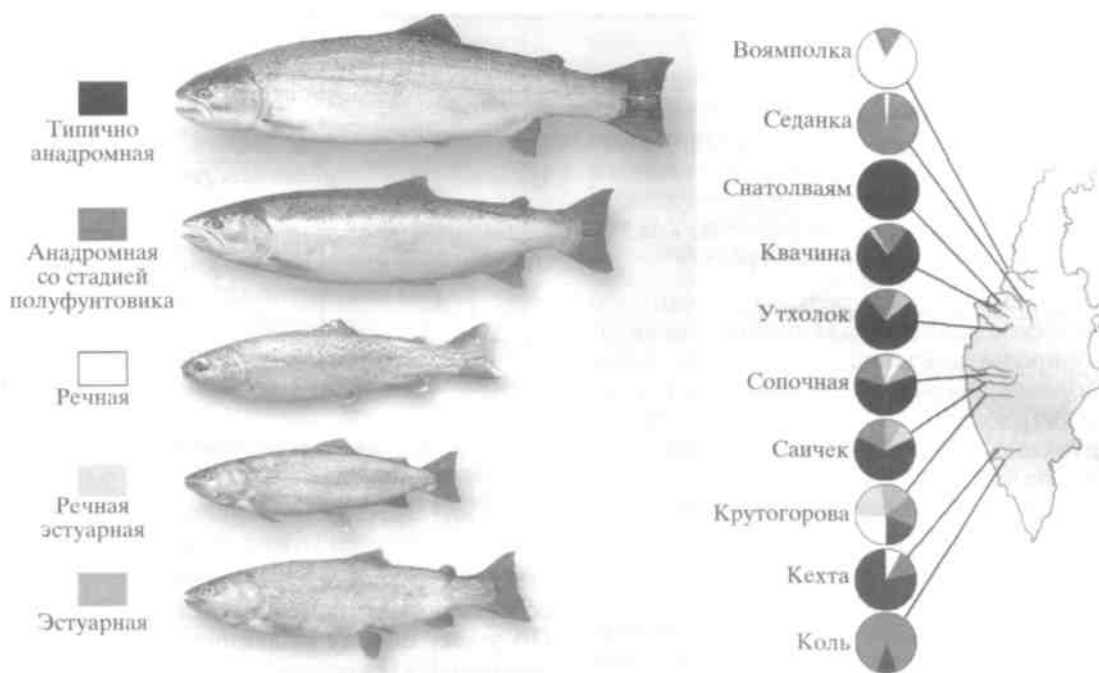


Рис. 4. Комплексы жизненных стратегий микижи в локальных популяциях Западной Камчатки

чениях их внутреннего разнообразия, к которым близки характеристики ненарушенных природных систем (6 на рис. 3).

**Значение внутривидового разнообразия.** В большинстве исследований рассматривается, как правило, разнообразие видов. Между тем внутривидовое разнообразие не менее важно. Представители каждого вида живых организмов в составе сообщества выполняют определённую роль (занимают определённую экологическую нишу). Их воздействие на биотические и абиотические компоненты среды и можно считать экосистемной функцией вида или популяции. С этой точки зрения предлагается рассматривать популяции как "единицы, обеспечивающие услуги (service-providing units)" [30]. В конечном счёте функционирование экосистемы обусловлено эффективностью и устойчивостью функций входящих в неё видов и популяций, что, в свою очередь, зависит от их внутреннего разнообразия.

Новые примеры, подтверждающие эту важную закономерность, получены в ходе реализации упомянутой программы Президиума РАН. В частности, выявлен значительный уровень генетического своеобразия географических форм у ряда видов деревьев семейства сосновых [31]. Эффективность функционирования этих видов в конкретных условиях зависит от сохранения местных форм, а интегральная экосистемная функция на обширном ареале - от сохранения всего внутривидового разнообразия. Исследова-

ния озёрных популяций арктического гольца в Забайкалье [32] и алтайских османов в водоёмах Центральной Азии [33] выявили образование у этих видов комплексов внутривидовых форм, различающихся как морфологически, так и экологически (прежде всего по особенностям питания). Эти результаты подтверждают показанную ранее ключевую роль внутривидового разнообразия в формировании широкого спектра экологических вариаций у ряда видов рыб, позволяющих им устойчиво существовать в нестабильных и суровых условиях.

Один из наиболее ярких примеров получен при исследовании камчатских популяций микижи (вид лососёвых рыб). Локальные популяции этой рыбы в разных реках характеризуются специфическим соотношением жизненных стратегий рыб (рис. 4), что можно рассматривать как адаптацию популяций к местным условиям: наличие корма и нерестилищ, температурному режиму водоёма и др. [34]. Сложная структура внутривидового разнообразия обеспечивает микиже устойчивость и максимальное использование ресурсов в изменяющейся среде. Комплексы различных жизненных стратегий характерны и для других видов лососёвых рыб. Если учесть их ведущую роль в экосистемах лососёвых рек и их определяющее влияние на вещественно-энергетические потоки между морскими, речными и наземными экосистемами, то важность внутривидового разнообразия с точки зрения экосистемных функций становится очевидной.

Таким образом, проведённые исследования продемонстрировали первостепенную роль внутривидового разнообразия в устойчивости видов и оптимизации их экологических функций как в локальных экосистемах, так и на обширном ареале, в нестабильных условиях среды.

Исследования по программе Президиума РАН позволили сделать теоретические обобщения, подчёркивающие ключевую роль внутривидового и внутривидового разнообразия в обеспечении экосистемных функций. Концепция системы компенсационных механизмов [35] рассматривает процессы, происходящие в сообществах и биотических системах в стрессовых условиях при обеднённом видовом разнообразии. Часть из них можно рассматривать как способ оптимизации и стабилизации экологической функции видов и популяций за счёт резервов их внутреннего разнообразия, в том числе:

- механизм компенсации плотностью, позволяющий использовать освобождающиеся в стрессовых условиях экологические ниши;
- расширение экологических ниш видов;
- доминирование одного и того же вида в широком спектре сообществ;
- формирование в пределах одной экосистемы комплексов внутривидовых экологических форм.

На основе моделирования оптимального разнообразия биосистем [29] показано, что адаптивной реакцией биосистем на антропогенную или естественную дестабилизацию среды является увеличение внутривидового разнообразия при сокращении числа видов в сообществе. Исходя из этого можно говорить о том, что в менее стабильных условиях регуляторная нагрузка перераспределяется с уровня видового разнообразия на внутривидовой и внутривидовый уровни, что обеспечивает устойчивость функционирования отдельных популяций и экосистем в целом.

## СОХРАНЕНИЕ СРЕДООБРАЗУЮЩИХ ФУНКЦИЙ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ - ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ИМПЕРАТИВ СОВРЕМЕННОСТИ

**Функции биоразнообразия и цели управления природными системами.** Тысячелетиями человек преследовал прежде всего сугубо утилитарную выгоду от использования живой природы - получение биопродукции. Продукционные функции (особенно добыча морепродуктов и древесины) продолжают играть существенную роль в мировой экономике. Однако сегодня необходимо в корне изменить наше отношение к живой природе и осознать, что самой важной является её средообразующая функция. Этот сдвиг в понимании ценности природы принципиально важен, так как он определяет выбор целей управления в сфере природопользования.

Цели управления природными системами при использовании разных функций биоразнообразия

| Используемые функции                          | Цели                                                                                                   |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Средообразующие функции                       | Сохранение разнообразия и постоянно поддерживаемой суммарной биомассы биосистем на естественном уровне |
| Информационная и духовно-эстетическая функции | Сохранение разнообразия биосистем на естественном уровне                                               |
| Продукционная функция                         | Максимальная продуктивность (максимальный объём биомассы, устойчиво изымаемой из системы)              |

Чтобы проанализировать цели управления всем комплексом основных функций биоразнообразия, нужно, кроме *продуктивности* биосистем (объёма изымаемой из них биомассы), учитывать также их *разнообразие* и *объём постоянно поддерживаемой биомассы* (таб.).

Таким образом, при использовании средообразующих и информационных функций цели управления совпадают с поддержанием естественного уровня биоразнообразия, а вот при использовании продукционной функции цель управления этому противоречит. При изъятии из экосистем и популяций максимально возможных объёмов биомассы, так же, как и при искусственном увеличении их продуктивности за счёт разного рода "удобрений", следует ожидать деградации их разнообразия и средообразующих функций. Результаты многолетних исследований пресноводных экосистем подтвердили этот вывод, продемонстрировав неизбежность упрощения структуры сообществ при искусственном повышении их продуктивности [36]. Как отмечалось выше, деградация средообразующих функций происходит и при эксплуатации наземных экосистем, в том числе при вырубке лесов. У сообществ, восстанавливающих свою структуру после изъятия из них больших объёмов биомассы, способность к биотической регуляции параметров окружающей среды ослаблена [20]. Многочисленные примеры нарушения средообразующих функций в результате целенаправленной модификации экосистем для увеличения производства продукции приведены в докладе "Экосистемы и благосостояние человека" [6].

Если мы пока не можем полностью отказаться от изъятия биопродукции из природных экосистем, то при определении целей управления эта задача должна быть подчинена приоритету сохранения средообразующей функции: соответственно, должны ограничиваться объёмы и формы ресурсной эксплуатации.

**Экономическая недооценка средообразующей функции биоразнообразия.** Как подчёркивается в докладе "Экосистемы и благосостояние человека" [6], природные экосистемы и их "услуги" - важнейший капитал каждой страны. Но из-за того, что они не включены в стандартные системы экономических индикаторов, их разрушение не отражается на формальных показателях богатства стран и благосостояния населения. В стране могут уничтожаться леса и истощаться рыбные запасы, но ВВП будет расти: сиюминутная видимость экономического роста будет создаваться за счёт разрушения основного природного капитала, подрывая потенциал будущего развития.

Хуже всего обстоит дело с экономической оценкой самой важной функции биоразнообразия - средообразующей. Этот вид экосистемных услуг, в отличие от биопродукции, не представлен на рынке и не имеет денежного выражения. Какова цена биосферы, атмосферы или всей почвы Земли? Вопрос о стоимости глобальных средообразующих факторов не имеет смысла - они бесценны. И всё же попытки оценить экономический масштаб глобальных экосистемных услуг предпринимались и привели к следующим выводам [19]:

- стоимость учтённых экосистемных услуг намного превышает глобальный валовой продукт<sup>8</sup>;
- стоимость продукционных функций (продовольствия и сырья) составляет всего около 6% от общей стоимости экосистемных услуг.

На национальном, региональном и локальном уровнях могут быть получены вполне конкретные экономические оценки, которые можно использовать в процессе принятия решений. Уже частичный учёт лишь некоторых средообразующих функций (в том числе через величину возможного ущерба хозяйству и здоровью людей при их утрате) показывает, что экономический эффект от сохранения природных экосистем намного превышает ту выгоду, которую можно извлечь при их интенсивной эксплуатации или трансформации в сельскохозяйственные угодья [6].

Один из возможных подходов - оценить, сколько будет стоить воспроизведение экосистемных услуг технологическими установками. Широкую известность получил случай с водоснабжением Нью-Йорка. Уничтожение природных экосистем, застройка и развитие сельского хозяйства на территории его водосборного бассейна привели к тому, что в середине 1990-х годов качество воды в городе опустилось ниже приемлемого уровня. Расчёты показали, что восстановление средообразующих функций экосистем на территории бассейна (организация водоохраных

зон и ограничение хозяйственного использования территории) обойдётся дешевле, чем строительство дополнительных установок для очистки воды [37].

Сегодня при поддержке крупнейших международных организаций (ООН, Всемирный банк, Европейское сообщество) ведётся активная разработка экономических критериев и индикаторов, учитывающих ущерб от разрушения природной среды. Показано, что экономический рост многих стран сопровождается деградацией их истинного богатства и резервов устойчивого развития [6]. Реально работающие механизмы определения стратегических целей и принятия важнейших решений в области природопользования на национальном и международном уровне ещё крайне далеки от учёта ценности средообразующих функций природы.

Многочисленная недооценка биоразнообразия, прежде всего его средообразующей функции, неизбежно ведёт к его уничтожению - в данный момент проекты утилитарно-коммерческого использования биоресурсов и хозяйственной трансформации природных территорий кажутся более выгодными. Этот губительный механизм продолжает действовать, несмотря на то, что бумеранг уже вернулся: ущерб, обусловленный уничтожением природных экосистем, стал существенным экономическим фактором.

**Сохранение природных экосистем - необходимое условие выживания человечества.** Для обеспечения глобальной биотической регуляции нужны глобальные по размерам территории, занятые природными сообществами [20]. Современные масштабы разрушения живого покрова Земли заставляют поставить цель безусловного сохранения всех сохранившихся природных экосистем. На самом деле правильнее говорить даже не о прекращении наступления человека на природу, а о необходимости планомерного "отступления" и восстановления природы на значительной части территорий, где она уничтожена [16]. В отношении частично трансформированных человеком экосистем (которые занимают сегодня около 24% суши), необходима политика строгого выполнения требований *сохранения биоразнообразия и его средообразующих функций* в ходе любых видов природопользования.

Для снижения темпов утраты биоразнообразия необходимо предпринять беспрецедентные усилия, поскольку большинство механизмов этого процесса будут сохранять или усиливать свою активность в ближайшем будущем. Надо понимать, что этот путь не сулит сиюминутных выгод, напротив, он потребует существенных сил и средств, но чем раньше человечество осознает эту необходимость и перейдет от разрушения природы к её восстановлению, тем меньшими будут эти затраты.

<sup>8</sup> Оценки минимального уровня стоимости глобальных экосистемных услуг составили в среднем 33 x 10 долл. США (в ценах 1994 г.), что оказалось в 1.8 раза больше глобального ВВП (global gross national product) в тот период [19].

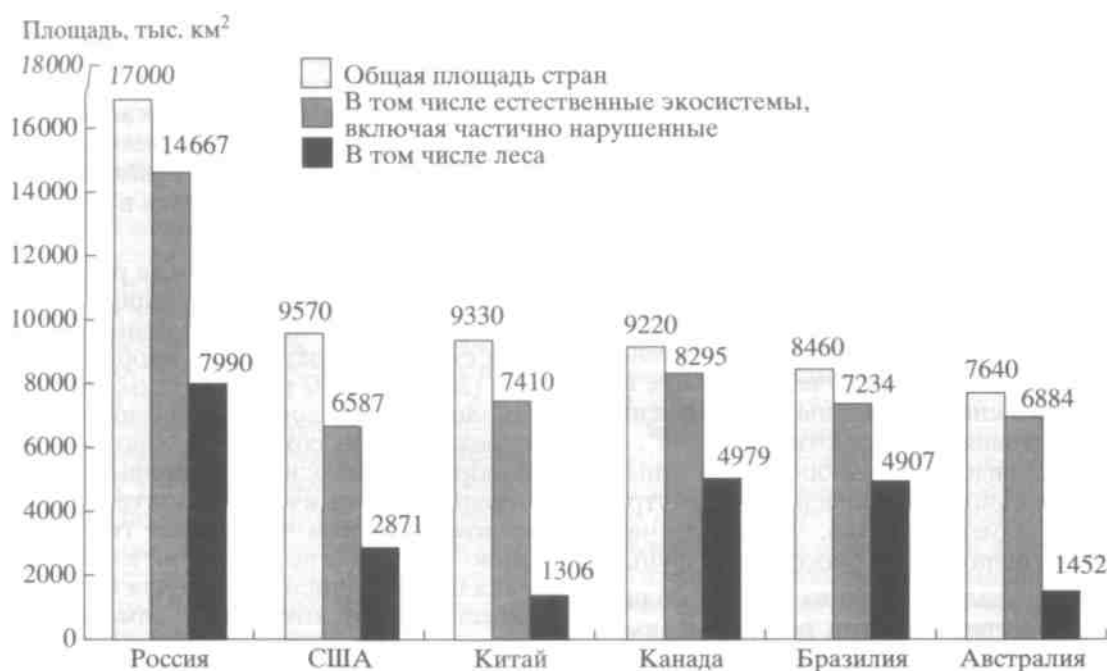


Рис. 5. Общая площадь и доля природных экосистем суши в крупнейших странах мира (по данным [39])

## КЛЮЧЕВАЯ РОЛЬ РОССИИ В СОХРАНЕНИИ УСТОЙЧИВОСТИ БИОСФЕРЫ

**Средообразующая функция экосистем России.** Как отмечается в докладе Программы развития ООН о развитии человеческого потенциала в России (2005), в мире растёт понимание того, что наша страна является главным экологическим донором планеты, внося самый большой вклад в обеспечение устойчивости биосферы [38]. На территории России сохранились крупнейшие в мире природные массивы (рис. 5), представлены практически все типы экосистем и сосредоточено основное видовое разнообразие самого большого континентального региона планеты - Северной Евразии. В России сосредоточено около 22% площади мировых лесных экосистем, имеющих особую ценность для биосферной регуляции.

Если придерживаться представлений Киотского протокола о механизмах современных климатических изменений, то с этой точки зрения России принадлежит совершенно исключительное место. Её природные экосистемы играют ключевую роль в поддержании газового баланса атмосферы. Именно бореальные леса запасают самое значительное количество углерода, как в абсолютных значениях, так и в пересчёте на единицу площади. Крупнейшими массивами подобных экосистем обладают Россия, Канада и США, но именно наши леса сохраняют и ежегодно аккумулируют наибольшее количество углерода [17]. Болотные экосистемы России, как показали ис-

следования, проведённые при поддержке программы Президиума РАН, вносят не менее важный вклад в биосферную регуляцию. При рациональном управлении роль мощного регулятора также могут играть степные экосистемы в зоне распространения чернозёмов, так как они способны накапливать в почве много углерода [27].

Водорегулирующие и водозащитные функции экосистем России тоже имеют мировое значение. Нехватка качественной пресной воды уже давно стала глобальной проблемой. Россия обладает крупнейшими ресурсами пресной воды: её запасы в наших озёрах составляют более 20% мировых [40], объём годового стока рек уступает лишь Бразилии<sup>9</sup>. Этого богатства мы можем легко лишиться, если будут разрушены природные экосистемы.

Говоря о ценности природных экосистем для поддержания биосферной регуляции, следует подчеркнуть, что критериями тут должны быть их средообразующие функции и степень сохранности (ненарушенности человеком), а не формальные показатели видового разнообразия, которые часто используются для выделения природных территорий, которые необходимо сохранить в первую очередь. Долгое время внимание мировой приро-

<sup>9</sup> По данным Второго доклада ООН о состоянии водных ресурсов мира [41], суммарные возобновимые ресурсы пресной воды из всех источников (суммарный сток) составляют по странам: Бразилия - 8.2 км³/год; Россия - 4.5 км³/год; США - 3.0 км³/год; Канада - 2.9 км³/год; Китай и Индонезия - по 2.8 км³/год.

доохранной общественности было приковано к тропическим странам, где сосредоточено основное многообразие видов. Возник даже специальный термин "megadiversity countries". Однако с точки зрения сохранения устойчивости биосферы этот подход неправомерен. По показателям видового разнообразия северные экосистемы несопоставимы с тропическими, но это нисколько не умаляет их роль в биосферной регуляции. Природные экосистемы, виды и популяции имеют уровни дифференциации, близкие к оптимальным для тех условий, в которых они длительное время развивались. Как отмечалось выше, в более суровых и менее стабильных по сравнению с тропиками условиях Севера относительно невысокий уровень видового разнообразия компенсируется повышенной внутривидовой и внутривидовой изменчивостью, что обеспечивает эффективное выполнение биосферных функций.

Мы всегда знали, что наша страна обладает богатейшими естественными ресурсами, имея в виду прежде всего то, что можно взять из природы: полезные ископаемые, лес, рыбу, пушнину и т.п. Теперь пора понять, что наиболее ценным, жизненно важным ресурсом глобального масштаба является средообразующая функция природных экосистем России. Ценность этого ресурса в будущем только возрастёт, но для этого нужно обеспечить его сохранность. От того, как мы распорядимся этим богатством, зависит не только благополучие России, но и всей планеты.

**Угрозы биоразнообразию России.** Самые большие в мире природные богатства мы постепенно растрчиваем. Природные экосистемы России уничтожены почти на 15% и частично нарушены на 35% территории [42]. Некоторые типы экосистем находятся на грани исчезновения: в частности, биомы европейских степей и широколиственных лесов практически исчезли (сегодня они представлены мелкими фрагментами на особо охраняемых природных территориях и закрытых полигонах). Сотни видов признаны редкими или исчезающими, в Красную книгу Российской Федерации занесено 414 видов и подвидов животных [43], 516 видов растений и 17 видов грибов [44]. Браконьерство приобрело промышленные масштабы, в результате практически утрачены уникальные ресурсы осетровых рыб, бесконтрольно вырубается самые ценные леса. Пожары, в большинстве своём возникающие по вине человека, ежегодно уничтожают лес на миллионах гектаров. Масштабное гидротехническое строительство и массовые вселения чужеродных видов привели к тому, что экосистемы крупнейших российских рек потеряли свой естественный облик, структура биоценозов радикально изменилась, продуктивность снизилась. Из-за чрезмерного промысла в конце XX в. подорваны запасы основных промысловых рыб в европейских морях Рос-

сии, колоссальные подъёмы численности видов-вселенцев в Чёрном и Азовском морях привели к таким сильным перестройкам морской биоты, что нынешнее состояние этих морей можно охарактеризовать как экологическую катастрофу. Таким образом, ситуация в области сохранения биологического разнообразия в стране вызывает крайнюю обеспокоенность.

Прошло более 10 лет после ратификации Россией международной Конвенции по биоразнообразию (1995) и 5 лет после принятия Национальной стратегии сохранения биоразнообразия России (2001). В 2002 г. Правительство РФ одобрило Экологическую доктрину Российской Федерации, определившую сохранение биологического разнообразия как одну из основных задач государственной экологической политики. Однако в действительности за прошедшие годы дело охраны живой природы не только не улучшилось, но радикально ухудшилось. Сегодня в России сформировался целый комплекс взаимосвязанных социально-экономических и политических процессов, ведущих к разрушению природных экосистем.

Первопричиной этого можно считать "анти-экологическую" направленность развития нашей экономики. За последние 15 лет произошла её существенная реструктуризация в пользу сырьевых и загрязняющих окружающую среду секторов хозяйства на фоне деградации ресурсосберегающих и высокотехнологичных отраслей<sup>10</sup>, энергоёмкость экономики увеличилась на 16%, в 2,5-4 раза превысив показатели развитых стран [38]. Ведущее место в экономике России занимает минерально-сырьевой сектор: на его долю приходится 25-28% ВВП и 65-70% валютных поступлений в бюджет страны [45]. Экономический рост, наметившийся на рубеже веков, можно охарактеризовать как "грязный", на протяжении ряда последних лет в промышленности наблюдается тенденция роста отходов и выбросов загрязняющих веществ [38,45].

По величине "экологического следа", приходящегося на душу населения, Россия занимает среднее место среди стран с развитой экономикой [8]: каждый человек у нас потребляет примерно столько же ресурсов, сколько обычный европеец. Но уровень жизни у нас намного ниже. При пересчёте показателя "экологического следа" на 1 долл. ВВП мы оказываемся в числе стран, которые изымают из природы больше всего ресурсов<sup>11</sup>. По этому показателю наша экономика сопоставима лишь с нефтедобывающими ближневосточными странами (Кувейт, Арабские Эмираты).

<sup>10</sup> Например, с 1990 по 2003 г. удельный вес топливных отраслей в промышленности увеличился в 2,5 раза, доля машиностроения и металлообработки сократилась с 31 до 20%, доля лёгкой промышленности упала с 12 до 1% [38].

<sup>11</sup> Показатели "экологического следа" на 1 долл. ВВП составляют: в США, Китае, Индии, европейских странах не более 0,2; России, Кувейте, ОАЭ около 0,4. Рассчитано по данным МВФ по паритету покупательной способности [46].

На фоне роста ВВП в России все последние годы отмечается ухудшение экологически скорректированных индексов развития<sup>12</sup>. Например, в 2000 г., когда прирост ВВП составил 9%, индекс истинных сбережений, рассчитанный по методике Всемирного банка, показывал их сокращение на 13% [38]. Исследования российских специалистов выявили аналогичную картину: если учесть ущерб от загрязнения среды, то наш ВВП не растёт, а уменьшается на 3-15% в год [47]. Современное увеличение экономических показателей - это лишь сиюминутная видимость экономического роста, которая создаётся за счёт растраты природного капитала страны.

Угроза разрушения природных экосистем, связанная с перспективой наращивания эксплуатации естественных ресурсов, многократно усиливается действием целого ряда других факторов:

- ослаблением системы государственного контроля в сфере охраны и использования живой природы и системы управления особо охраняемыми природными территориями;
- изменениями законодательства в области природопользования и прав собственности на природные ресурсы, которые ещё более ослабляют государственный и общественный контроль в этой области;
- низким уровнем жизни основной части населения;
- отсутствием заинтересованности населения и представителей бизнеса в сохранении живой природы.

\*\*\*

Средообразующая функция российского природного комплекса - крупнейшего в мире "природного капитала" - определяет центральную роль нашей страны в решении задачи сохранения стабильности биосферы. В силу этого обстоятельства Россия призвана занять лидирующее место в международном процессе, направленном на сохранение биосферы и обеспечение глобальной экологической безопасности, - не менее важным, чем в области формирования системы международной энергетической безопасности.

С точки зрения национальных интересов сохранение природных экосистем России и их средообразующих функций также является ключевой задачей. Это необходимое условие устойчивого и прогрессивного развития страны. Ущерб от разрушения естественных экосистем и разбалансировки экосистемных и биосферных процессов в результате интенсификации добычи природных ресурсов может многократно превысить полученную от этого прибыль. Принятие реше-

<sup>12</sup> Система интегрированных экологических и экономических счетов (Integrated Environmental and Economic Accounting) ООН; индексы истинных сбережений (genuine savings) Всемирного банка; проекты GARP1, GARP2, TEPI Европейского сообщества [38].

ний о реализации любых экономических проектов, в первую очередь направленных на эксплуатацию природных ресурсов, должно основываться на оценке баланса предполагаемых выгод и возможного ущерба вследствие средообразующих функций. В долговременной перспективе сохранение природных экосистем гораздо более выгодно с экономической точки зрения, чем их нерациональное использование для получения сиюминутной прибыли.

Выполнение строгих природоохранных требований не является тормозом на пути экономического развития. Напротив, это действенный механизм, стимулирующий прогрессивные структурные преобразования, опережающее развитие ресурсосберегающих и высокотехнологичных отраслей и производств, которые в современном мире определяют статус и конкурентоспособность национальной экономики. Необходимо неотлагательно начать процесс изменения приоритетов государственной политики в области экологии и природопользования, отказаться от наращивания добычи природных ресурсов, принять новую стратегическую цель - сохранение экосистем и их средообразующей функции.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований Президиума РАН "Биоразнообразие и динамика генофондов".

Авторы выражают признательность Ю.И. Чернову, Б.Р. Стригановой и Н.В. Протасовой за ценные замечания и помощь при подготовке рукописи.

## ЛИТЕРАТУРА

1. <http://news.bbc.co.uk/1/hi/sci/tech/4745963.stm>
2. <http://earth.google.com>
3. Повестка дня на XXI век. Принята Конференцией ООН по окружающей среде и развитию. Рио-де-Жанейро, 3-14 июля 1992 г. <http://www.un.org/russian/conferen/wssd/agenda21/>
4. Конвенция о биологическом разнообразии. Принята Конференцией ООН по окружающей среде и развитию. Рио-де-Жанейро, 3-14 июля 1992 г. <http://www.un.org/russian/document/convents/biodiv.htm>
5. Global Environment Outlook 3. Past, present and future perspectives. UNEP, 2002. <http://www.unep.org/geo/geo3/russian/pdf.htm>; Global Environment Outlook Yearbook. UNEP: 2006; [www.unep.org/geo/yearbook](http://www.unep.org/geo/yearbook)
6. *Millennium Ecosystem Assessment*. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis; Biodiversity Synthesis. World Resources Institute. Wash., DC: Island Press, 2005. <http://www.maweb.org/en/Reports.aspx#>; <http://www.millenniumassessment.org/en/Reports.aspx#>
7. Global Biodiversity Outlook 2. Montreal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2006; <http://www.biodiv.org/gbo2/default.shtml>
8. Living planet report 2006. Gland: WWF-World Wide Fund For Nature, 2006. [http://www.panda.org/news\\_facts/publicationsAiving\\_planet\\_report/lp\\_2006/index.cfm](http://www.panda.org/news_facts/publicationsAiving_planet_report/lp_2006/index.cfm); [http://www.footprintnetwork.org/newsletters/gfn\\_blast\\_0610.html](http://www.footprintnetwork.org/newsletters/gfn_blast_0610.html)

9. Baillie J.E.M., Hilton-Taylor C., Stuart S.N. (Ed.) 2004 IUCN Red List of Threatened Species. Gland and Cambridge: IUCN, 2004. [http://www.iucn.org/themes/ssc/red\\_list\\_2004/GSA\\_book/Red\\_List\\_2004\\_book.pdf](http://www.iucn.org/themes/ssc/red_list_2004/GSA_book/Red_List_2004_book.pdf); <http://www.iucnredlist.org/>
10. Захаров В.И., Грибанов К.Г., Прокопьев В.Е., Шмелёв В.М. Влияние полосы прозрачности атмосферы 8-13 мкм на устойчивость теплового состояния Земли // Атомная энергия. 1992. Т. 72. Вып. 1.
11. Горшков В.Т. Физические и биологические основы устойчивости жизни. М.: ВИНТИ, 1995.
12. Горшков В.В., Горшков В.Г., Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С., Макарьева А.М. Биотическая регуляция окружающей среды // Экология. 1999. № 2.
13. Оборин А.А., Рубинштейн Л.М., Хмурчик В.Т., Чурилова Н.С. Концепция организованности подземной биосферы. Екатеринбург: УрО РАН, 2004.
14. Johannesburg Declaration on Sustainable Development. UN, 2002. [http://www.un.org/esa/sustdev/documents/WSSD\\_POI\\_PD/English/POI\\_PD.htm](http://www.un.org/esa/sustdev/documents/WSSD_POI_PD/English/POI_PD.htm)
15. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 10th Session of Working Group I of the IPCC. Paris, February 2007. UNEP. <http://www.ipcc.ch>
16. Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С., Рейф И.Е. Перед главным вызовом цивилизации. Взгляд из России. М.: ИНФРА-М, 2005.
17. Залиханов М.Ч., Лосев К.С., Шелехов А.М. Естественные экосистемы - важнейший природный ресурс человечества // Вестник РАН. 2006. № 7.
18. Горшков С.П. Стихийные бедствия, природа и человек // Природопользование и устойчивое развитие. Мировые экосистемы и проблемы России. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006.
19. Costanza R., d'Arge R., de Groot, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital // Nature. 1997. V. 387.
20. Горшков В.Г., Макарьева А.М., Лосев К.С. В повестке дня - стратегия выживания человечества // Вестник РАН. 2006. № 4.
21. Naeem S., Hakansson K., Lawton J.H., Crawley M.J., Thompson L.J. Biodiversity and plant productivity in a model assemblage of plant species // Oikos. 1996. V. 76.
22. Symstad A.J., Chapin III F.S., Wall D.H. et al. Long-term and large-scale perspectives on the relationship between biodiversity and ecosystem functioning // BioScience. 2003. V. 53.
23. Spehn E.M., Hector A., Joshi J. et al. Ecosystem effects of biodiversity manipulations in European grasslands // Ecological Monographs. 2005. V. 75.
24. Balvanera P., Pfisterer A., Buchmann N. et al. Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services // Ecology Letters. 2006. № 9.
25. Hooper D., Chapin III F., Ewel J. et al. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge // Ecological Monographs. 2005. V. 75. № 1.
26. Hector A., Joshi J., Lawler S.P., Spehn E.M., Wilby A. Conservation implications of the link between biodiversity and ecosystem functioning // Oecologia. 2001. V. 129.
27. Тишков А.А. Биосферные функции природных экосистем России. М.: Наука, 2005.
28. Schlapfer F., Schmid B. Ecosystem effects of biodiversity: a classification of hypotheses and exploration of empirical results // Ecological Applications. 1999. V. 9. №3.
29. Букварёва Е.Н., Алещенко Г.М. Принцип оптимального разнообразия биосистем // Успехи современной биологии. 2005. Т. 125. Вып. 4.
30. Luck G., Daily G., Ehrlich P. Population diversity and ecosystem services // Trends in Ecology and Evolution. 2003. V. 18. №7.
31. Динамика популяционных генофондов при антропогенных воздействиях / Ред. Ю.П. Алтухов. М.: Наука, 2004.
32. Алексеев С.С., Пичугин М.Ю., Самусёнок В.П. Разнообразие арктических гольцов Забайкалья по меристическим признакам, их положение в комплексе *Salvelinus alpinus* и проблема происхождения симпатрических форм // Вопросы ихтиологии. 2000. № 3.
33. Деебуадзе Ю.Ю. Экологические закономерности изменчивости роста рыб. М.: Наука, 2001.
34. Павлов Д.С., Савваитова К.А., Кузицин К.В. и др. Тихоокеанские благородные лососи и форели Азии. М.: Научный мир, 2001.
35. Чернов Ю.М. Видовое разнообразие и компенсационные явления в сообществах и биотических системах // Зоологический журнал. 2005. № 10.
36. Алимов А.Ф. Роль биологического разнообразия в экосистемах // Вестник РАН. 2007. №11.
37. Valuing ecosystem services: Toward better environmental decision-making. Wash., DC: National Academies Press, 2004.
38. Россия в 2015 году: цели и приоритеты развития. Доклад о развитии человеческого потенциала в Российской Федерации за 2005 год. Программа развития ООН. 2005. <http://www.undp.ru/index.php?iso=RU&lid=2&cmd=publications&id=49>
39. Экономика сохранения биоразнообразия / Ред. А.А. Тишков. М.: Институт экономики природопользования, 2002.
40. Алексеевский Н.И., Гладкевич Г.И. Водные ресурсы в мире и в России за 100 лет // Россия в окружающем мире: 2003. Аналитический ежегодник. М.: Изд-во МНЭПУ, 2003.
41. Water, a shared responsibility. The United Nations World Water Development Report 2. UNESCO, 2006. [http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr2/table\\_contents.shtml](http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr2/table_contents.shtml)
42. Лосев К.С. Экологические проблемы и перспективы устойчивого развития в России в XXI веке. М.: Космосинформ, 2001.
43. Красная книга Российской Федерации. Животные. М.: АСТ, 2001. [http://www.sevin.ru/redbook/index\\_an.html](http://www.sevin.ru/redbook/index_an.html)
44. Красная книга РСФСР. Растения. М.: Росагропромиздат, 1988. [http://www.sevin.ru/redbook/index\\_pl.html](http://www.sevin.ru/redbook/index_pl.html)
45. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2004 г. М.: Министерство природных ресурсов РФ, 2005.
46. International Monetary Fund. World Economic Outlook Database. September 2006. <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2006/02/data/weoselgr.aspx>
47. Рюмина Е.В. Согласование финансовых механизмов обеспечения сохранения биоразнообразия со стратегиями экономического развития России и её регионов // Новые финансовые механизмы сохранения биоразнообразия. М., 2002.