

## **БИОРАЗНООБРАЗИЕ: СТРУКТУРА, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОХРАНЕНИЯ**

**А.К. Бродский**

*Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра прикладной экологии;  
brodsky-tempus@yandex.ru*

Рассмотрена концепция биоразнообразия как важный компонент современной биологии и политики в сфере экологии, получившая широкое международное признание в связи с Конвенцией Рио-1992.

Кратко охарактеризована структура биоразнообразия, которая формируется тремя её основными «ветвями»: генетическим, видовым и экологическим разнообразием всей жизни.

Отмечено, что в настоящее время темпы вымирания видов в 100–200 раз выше естественных; ожидается, что этот показатель будет быстро возрастать в текущем столетии в связи с увеличением темпов утраты местообитаний. Одна из главных причин состоит в том, что нынешняя стратегия сохранения биоразнообразия не учитывает, или недостаточно учитывает, выгоды от «экосистемных услуг» — обеспечивающих, регулирующих и культурных. Единственный способ избежать конфликта между усилиями по сохранению биоразнообразия и потребностями человечества заключается в следовании принципу устойчивого развития. Эта позиция предполагает рассмотрение биоразнообразия как некой биологической матрицы, определяющей вектор развития общества, и означает включение в стратегию сохранения биоразнообразия определённых рыночных механизмов применительно к вышеуказанным услугам.

## **BIODIVERSITY: STRUCTURE, PROBLEMS, AND PERSPECTIVES OF CONSERVATION**

**Andrei Brodsky**

*Department of Applied Ecology, Saint-Petersburg State University;  
brodsky-tempus@yandex.ru*

Under consideration is the concept of biodiversity as an important component of both the modern biology and environmental policy having received a wide international recognition due to Rio 1992 Convention.

Structure of the biodiversity is briefly characterized, with its three basic recognized “branches”, which are genetic, species, and ecological diversity.

It is noticed that the nowadays species extinction rate is 100–200 times higher than the natural one, and this rate is anticipated to increase rapidly in this century due to increasing rate of habitat loss. One of the main reasons is that the current biodiversity conservation strategy does not take into account, or takes it insufficiently, benefits of the “ecosystem services”, namely provisioning, regulating and cultural ones. The only way to avoid conflict between efforts to conserve biodiversity and human needs seems to follow the principles of sustainable development. This standpoint presumes treating the biodiversity as a kind of biological matrix defining the vector of social development and implies inclusion of certain market mechanisms, as they are applied to the above services, in the biodiversity conservation strategy.

Концепция биоразнообразия занимает важное место в современной науке и экологической политике. С момента подписания многими государствами Конвенции о биологическом разнообразии на Конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро в 1992 г. это понятие получило широкое международное звучание. Биологическое разнообразие — уникальная особенность живой природы. Именно благодаря ему формируется структурно-функциональная организация экосистем, обеспечивающая их стабильность и устойчивость к изменениям внешней среды, в том числе вызванным антропогенными воздействиями.

### 1. Три ветви биоразнообразия

Биологические науки изучают четыре главнейших феномена: жизнь, организм, биосферу и биоразнообразие. Организация живой материи включает три блока, которые соответствуют трём основным уровням: суборганизменный, организменный и надорганизменный. Первый объединяет молекулярную, клеточную, тканевую и органную системы организации, второй соответствует организменной системе, третий включает популяцион-

но-видовую и экологическую системы и биосферу. Биоразнообразие характеризует каждый из трёх основных уровней (рис. 1): без разнообразия органических молекул нет жизни, без морфологического и функционального разнообразия клеток, тканей, органов (или органелл у одноклеточных) нет организма, без разнообразия организмов не может быть экосистем и биосферы. Очевидно, что никакие биологические процессы невозможны вне биосферы и экосистем.

Уровням организации живой материи соответствуют три ветви биоразнообразия: генетическое разнообразие, видовое разнообразие (разнообразие организмов) и экологическое разнообразие (рис. 1). Каждая ветвь в свою очередь подразделяется на уровни, обладающие своими особенностями и составляющие предмет изучения таких биологических наук, как генетика, систематика и экология. Ветви тесно переплетаются, каждая из них необходима для существования жизни на Земле.

Уровень, который объединяет все три ветви, — популяция. Популяционно-видовой уровень организации живого лежит в основе биосферной жизни. На



Рис. 1. Структура и уровни биоразнообразия.

Fig. 1. Structure and levels of biodiversity.

этом уровне происходит реализация едва ли не главного специфического свойства живого — конвариантной редупликации (воспроизведения с изменением), с последующим распространением оказавшихся более приспособленных к данным условиям особей и популяций.

Генетическое разнообразие формирует основу двух других ветвей. За исключением случаев фенотипического полиморфизма генетическое разнообразие часто скрыто от глаз наблюдателя. Его исследование с применением молекулярных и генетических методов показало, что для благополучного длительного существования популяций в нормально меняющейся природной среде необходимо сохранение эволюционно-сложившегося соотношения внутри- и межпопуляционных компонент генного разнообразия (Алтухов, 1999).

Генетическое разнообразие — основа непрерывности эволюционного процесса: в условиях меняющейся среды одни особи получают больше шансов оставить потомство и, следовательно, передать свои гены по наследству по сравнению с теми, кто хуже приспособлен к среде. Особи же, вносящие наибольший относительный вклад в численность производимого потомства, оказывают и наибольшее влияние на его наследственные признаки.

Долгое время в центре внимания биологических наук был организм. Это обстоятельство определило тот факт, что основной и наиболее разработанной ветвью биоразнообразия стало разнообразие организмов, или видовое разнообразие. Под биоразнообразием чаще всего подразумевается множество видов животных, растений, грибов и микроорганизмов. Та-

кое богатое разнообразие видов должно быть систематизировано — причём так, чтобы место вида в системе несло в себе максимально возможную информацию о нём. При разграничении и распределении таксонов по рангам необходимо учитывать такие особенности, как обособленность, то есть величину разрыва между группами, измеряемую не просто в терминах фенетической дистанции, а в терминах биологической значимости: разрывы между таксонами — результат значительных событий в истории группы. По мере подъёма в верхние уровни иерархического ряда возрастают ширина и чёткость разрыва между таксонами, обусловленные различиями в использовании условий среды. На каждом последующем уровне с повышением ранга таксонов число таксонов закономерно падает. Линейный характер этой зависимости сохраняется для самых разных биологических групп (Левченко, 2012).

Наименее разработана ветвь экологического разнообразия. Совокупность видовых популяций образует сообщество, которое взаимодействует с физической средой и составляет с ней неразрывное единство — экосистему. В рамках пределов, установленных физической средой, биотическое сообщество обеспечивает производство первичной и вторичной продукции, поддержание круговорота веществ и устойчивости экосистем по отношению к внешним воздействиям. Причём все это тем успешнее, чем выше биоразнообразие. При этом само сообщество меняется. В результате межвидовой конкуренции происходит сужение экологических ниш и возрастает специализация, увеличивается видовое разнообразие, что в большинстве случаев приводит к повышению устойчивости экосистемы. При нарушаемом внешними силами развитии

экосистемы на смену одному сообществу приходит другое, которое затем сменяется следующим, и т. д. — так длится до тех пор, пока не возникает климаксное сообщество с таким сочетанием приспособительных типов, которое способно установить и длительное время поддерживать равновесие с физической средой.

Подобное равновесие рано или поздно устанавливается на всех этажах ветви экологического разнообразия. Эту ветвь можно представить в виде иерархического ряда экосистем, берущего начало от локального биогеоценоза, который рассматривается здесь как минимальная размерная единица экосистемы, до биосферы — глобальной экосистемы с экотопом, равным планете Земля. На каждом последующем уровне иерархического ряда экосистем возрастает масштаб факторов, от которых зависит равновесие между средой и биотическим сообществом (табл. 1).

Влияние, которое биотическое сообщество оказывает на свойства среды на нижнем (локальном) уровне в процессе развития конечного состояния, неизбежно сказывается на разнообразии более высоких уровней ряда. На каждом из иерархических уровней биосферы биотическое сообщество обеспечивает уровень биоразнообразия, достаточный для успешного функционирования экосистемы. В свою очередь, существование каждого из иерархических уровней биосферы определяется воздействием своего специфического фактора, масштаб которого растёт по мере подъёма в верхние уровни ряда. Биоразнообразие каждого из уровней включает то, что характеризует биоразнообразие нижних уровней, но в том числе оно само, обладая эмерджентными свойствами, включает также некоторые новые элементы, которые отсутствуют на нижних уровнях. В итоге суммарное био-

**Табл. 1.** Определяющие факторы и специфические элементы экосистем разного иерархического уровня.

**Table 1.** Regulating factors and specific elements of the ecosystems at different hierarchical levels.

Иерархический уровень	Определяющий фактор	Специфические элементы
Биосфера	Космический	Глобальное биоразнообразие
Экосистемы суши и океана	Геологический	Биологические группы по средам жизни
Биогеографическая область	Эволюционный	Экологические эквиваленты
Биом	Климатический климакс (региональный климат)	Жизненные формы
Ландшафт	Рельеф	Экотипы
Биогеоценоз	Эдафический климакс (локальные условия)	Видовые популяции

разнообразие возрастает по мере подъёма в верхние уровни ряда, достигая максимума на уровне биосферы.

Изменения биоразнообразия на нижнем уровне представляют собой прямое следствие деятельности биотического сообщества, слагаемого из видовых популяций. Такие изменения происходят относительно быстро — в течение нескольких месяцев или лет. И хотя сообщества эдафического климакса могут существовать длительное время, в масштабе времени более высоких уровней они воспринимаются как местные и краткосрочные нарушения. Часть структуры сообщества обусловлена динамическими процессами гибели, замещения и т. п., которые могут остаться незамеченными при крупномасштабном рассмотрении.

Специализация к наиболее эффективному использованию особенностей среды нередко происходит в ущерб адаптивности. Возникает конфликт между

эффективностью и адаптивностью. Это противоречие в известной мере снимается за счет внутривидовой конкуренции, которая приводит к росту генетического разнообразия, благодаря чему в рамках ареала вида в зависимости от рельефа и иных особенностей ландшафта выделяются группы особей, приспособленные к абиотическим факторам данной местности. В пределах ареала вида такие группы — экотипы — приурочены к участкам с неодинаковыми экологическими условиями. Приспособления, весьма полезные для вида в условиях одной части ареала, могут не столь хорошо соответствовать условиям в других его частях.

На следующем, более высоком уровне — уровне биомов — преобразование среды, осуществляемое биотическим сообществом, идёт ещё дальше. Процент площадей, способных поддерживать сообщества в состоянии климатического климакса, различен для разных областей.

Но поскольку стратегия развития любой экосистемы состоит в достижении равновесия с региональным климатом, то главными наземными экосистемами можно считать биомы. Разнообразие биомов достигается за счёт сочетания различных жизненных форм.

На уровне биогеографических областей необходимо учитывать ещё один фактор — видообразование, благодаря которому в разных биогеографических областях сообщества сильно различаются по видовому составу. Организмы, занимающие одинаковые или сходные экологические ниши в разных географических областях, называются экологическими эквивалентами. Экологические эквиваленты — ещё один элемент, который необходимо принимать во внимание при оценке биоразнообразия существующих на Земле биогеографических областей.

Следующий уровень иерархического ряда экосистем — уровень экосистем суши и океана. Так обозначают крупные подразделения биосферы, возникшие под действием геологических сил в историческом прошлом Земли и характеризующиеся неповторимым набором специфических свойств. При всех вариантах таксономического состава абиотических компонентов экосистем существуют однородности более высокого уровня, в которых сохраняется сходный характер основных факторов среды и общий характер связанной с ним части живого покрова. Сходство состава здесь уже не на уровне видов, а на уровне экоморф и жизненных форм. Огромные различия в физико-химических свойствах между наземной и водной средами жизни создают в них совершенно разные условия, к которым в течение длительной геологической истории приспособляются целые комплексы видов. Освоение новой среды жизни со-

провождается появлением новых форм, адаптивной радиацией и повышением общего уровня разнообразия. Успешными оказываются биологические группы, демонстрирующие подчас удивительные приспособления к таким экстремальным факторам среды, как крайняя сухость в пустынях или высокое давление океанических глубин.

Классификация экосистем суши и океана основана на различных подходах к оценке макроструктуры биосферы. Одним из возможных подходов служит выделение «сред жизни». На нашей планете имеется четыре качественно отличные среды жизни: вода, суша (т. е. наземно-воздушная среда), почва и организм (для паразитов и симбионтов). Основанием для их выделения служит характерный для каждой среды комплекс взаимозависимых факторов и свой набор биологических групп, иногда очень высокого ранга. Для каждой из этих сред характерен свой тип взаимодействия организмов со средой. Это вызывает формирование особой комбинации особенностей строения и физиологии. Например, ведущие придонный образ жизни членистоногие могут заметно отличаться по форме тела и способам передвижения, но их дыхание в водной среде может осуществляться за счёт поглощения кислорода через максимально расчленённые дыхательные поверхности типа жабр. На суше членистоногие прибегают к совершенно иному способу получения кислорода — лёгочному или трахейному дыханию.

Другой подход к оценке макроструктуры биосферы предложил В.И. Вернадский, который выделял в ней четыре «плёнки» или сгущения жизни (Вернадский, 1994): поверхностная плёнка океана; донная плёнка, точнее область раздела придонных вод и донных отложений с их

населением; промежуточная между ними масса воды с её населением; поверхность суши.

Как элементы макроструктуры биосферы «среды» или «плёнки» жизни получили название «биосферомероны» (Протасов, 2014). Четыре крупных биосферомерона существенно различаются по своему характеру и сложно выделить общие для всех критерии их внутренней дифференциации. Тем не менее, можно указать на черты сходства между 1-м и 4-м биосферомеронами, что позволяет их объединить в фитосферу по принципу ключевого биотического признака или в фотосферу по признаку основного фактора среды — присутствию солнечного излучения. Для 2-го биосферомерона характерно колоссальное разнообразие физической среды — это и сгущения коралловых рифов, и гидротермальные экосистемы и т. п. В наземном биосферомероне могут быть выделены биомы, различающиеся по принципу соотношения живого, биокосного и косного вещества. Особняком с точки зрения условий для развития биоразнообразия стоят внутренние водные экосистемы.

Биосфера как экосистема глобального масштаба с биотопом, равным планете Земля, объединяет все нижерасположенные уровни со всем тем, что отличает один уровень от других.

## 2. Разрушение биоразнообразия

Биоразнообразие планеты в глобальном масштабе подвержено влиянию глобальных факторов, таких как геологические процессы, изменение климата, нарушение биогеохимических циклов, экспансия биологических групп. Начиная с антропогенного периода кайнозойской эры определяющую роль в изменении биоразнообразия стали играть антропо-

генные факторы и в первую очередь использование земель для различных целей и широкое расселение чужеродных видов (Бродский, 2012).

Долговременный тренд за последние 500 млн лет состоял в постепенном эволюционном развитии всё 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 «подстёгивая» биологическую эволюцию. Согласно современным представлениям (Алексеев, 2000), 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, исчезает генетический материал, «наработанный» природой за миллиарды лет эволюции. По расчётам, ежегодно исчезает порядка 100–200 видов, и в XXI в. исчезнут 50–80 % всех видов живых существ, существовавших до начала промышленной революции. Это на два порядка выше, чем во время нескольких прошлых эпох массового вымирания видов, и на три порядка выше, чем «базовый» естественный темп вымирания (Яблоков и др., 2015).

Изменение любого природного фактора в результате деятельности человека неизбежно приводит к нарушению равновесия экосистемы, следствием чего часто становится её разрушение и утрата природного местообитания. Под этим названием фигурирует как прямое и полное разрушение естественной среды, так и её деградация, т. е. частичное разрушение, утрата ею свойств, необходимых для существования определенных видов животных или растений. Разные типы местообитаний страдают от антропогенной деятельности в различной степени. В случае водных экосистем естественная среда утрачивается чаще всего в результате загрязнения, а такое явление, как биоконцентрирование, приводит к гибели в первую очередь хищников высокого порядка. Для наземных экосистем наибольшее значение имеет прямое разрушение, фрагментация. Наиболее уязвимы леса, служащие приютом для большого числа редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных. Так, по данным Института мировых ресурсов 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 из них 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 кв. км до всего лишь 8.4 млн кв. км в наши дни (Хански, 2010).

Для млекопитающих в палеонтологической летописи имеется множество дан-

ных, позволяющих оценить естественную скорость вымирания видов. Исходя из этого было установлено, что современная скорость вымирания в 100–200 раз выше естественной. Оценки, основанные на других данных, указывают, что современная скорость глобального вымирания выше естественной от 100 до 1000 раз. Прогнозируется, что скорость вымирания будет быстро возрастать в текущем столетии из-за утраты местообитаний и изменения климата.

На глобальном уровне процесс вымирания видов, вызванный деятельностью человека, неравномерно затрагивает крупные таксономические группы. Из более чем 15 тыс. видов, находящихся под угрозой исчезновения, 12% составляют птицы, 23% — млекопитающие, 32% — амфибии и 31% — голосеменные растения. Недостаток данных по другим группам не позволяет сделать аналогичные выводы.

Всё 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. 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 (2010) исследовал факторы, определяющие вымирание популяций. Было установлено, что 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 всё ещё сохраняется в данном ландшафте.

Не все виды имеют одинаковую вероятность вымирания; определённые категории видов особенно ему подвержены. В Красной книге МСОП подверженность видов риску вымирания оценивают с использованием пяти групп критериев: размер популяции, особенности распространения, тенденция к сокращению численности, возрастная структура популяции, расчётная скорость исчезновения. Биологические особенности популяции, динамика её численности, темпы сокращения и т. п. действительно часто служат основным убедительным сигналом того, что вид находится на грани исчезновения и необходимо срочно предпринимать меры по его спасению. Однако потенциальная угроза существованию вида подчас возникает намного раньше, ещё до того, как число и численность его популяций угрожающе сокращаются. И обнаружить её может лишь внимательное изучение биологических параметров вида. Их соотношение с индикаторами деградации вида для животных приведено в табл. 2.

В первую очередь исчезают 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 виды-эксплеренты с иными характеристиками, которые уже не могут поддерживать устоявшиеся функции экосистем.

В основе устойчивости экосистемы лежит биотическая регуляция круговорота веществ, полноты использования первичной продукции и численности популяций. Подобно тому, как стабильность экосистемы в целом определяется биотическим сообществом, так и эффективность деятельности самого сообщества зависит от экологических возможностей высоких трофических уровней. Но именно животные, занимающие высокие трофические уровни, «страдают» от деятельности человека в первую очередь. Разрушая это звено, 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 рода, опасным болезням и иным внешним воздействиям.

### 3. Сохранение биоразнообразия

В практике сохранения биоразнообразия господствуют два основных подхода, в основе которых лежит внимание либо к популяциям и видам, которым грозит исчезновение, либо к экосистемам как среде обитания угрожаемых видов. В

**Табл. 2.** Соотношение биологических параметров вида и факторов риска для животных (по: Флинт, 2002, с изменениями).

**Table 2.** Relation between species biological parameters and risk factors for animals (after Flint, 2002, modified).

Биологические параметры	Индикаторы деградации вида
Численность популяции вида	относительно стабильная, но исходно низкая относительно высокая, но стабильно сокращается исходно малая и продолжает сокращаться негативные изменения в половой и возрастной структуре популяции
Структура и площадь ареала	фрагментация ареала под влиянием антропогенных факторов стабильное сокращение общей площади ареала реликтовый характер ареала ареал эндемичного вида
Экологическая специфика вида	жесткая и безальтернативная связь с определёнными экологическими факторами (стенобионтный вид) жесткая связь с определёнными биотопами (стенотопность)
Подвижность (включая регулярные дальние миграции)	повышенная смертность во время дальних миграций изменение традиционных миграционных путей
Отношение к человеку	обострённая реакция на появление человека (антропофобия)

первом случае алгоритм природоохранной стратегии состоит в выборе наименее исследованного и наиболее уязвимого объекта в той части ареала, где он имеет наименьшую численность и наиболее уязвим. Принимаемые меры по охране природы главным образом направлены на те виды, численность которых уменьшается и они находятся под угрозой вымирания. Многие национальные парки созданы для защиты «харизматической фауны» или определённых видов, которые привлекают внимание публики, являются своего рода символами и очень важны для экотуризма (Примак, 2002). Другие территории охра-

няются с ориентацией на индикаторные виды, наличие которых свидетельствует о здоровом состоянии экосистемы.

В основе разработки мер, направленных на спасение видов, подверженных риску исчезновения, лежат исследования, цель которых состоит в оценке степени уязвимости вида. Начиная с 1970-х гг., Международный союз охраны природы вместе с другими организациями и с помощью многочисленных групп специалистов составляет всемирные Красные книги животных и растений. Списки видов, занесённых в эти книги, ныне основаны на критериях, принятых в 1994 г. По срав-

нению с применявшимися ранее методами оценки статуса видов, находящихся под угрозой исчезновения, новые правила основаны на количественных критериях, характеризующих текущую численность и ареалы популяций, а также их изменения в прошлом.

Для того, чтобы создать полноценную программу сохранения, способную защитить и даже восстановить находящиеся в опасности виды, жизненно необходимо понять состояние их популяций в дикой природе, выявить, как реагируют эти популяции на различные условия, знать историю и экологию этих видов. В последнее время в составлении списков Красной книги всё большее значение приобретают исследования в области исторического развития различных биологических групп с помощью молекулярных и генетических методов. Каждый вид обладает уникальным набором свойств, приобретенных в ходе исторического развития и определивших успех в освоении среды обитания. Вымирание видов означает утерю важных моментов эволюционной истории, причём, чем древнее в геологическом смысле тот или иной вид, тем больший отрезок эволюционной истории окажется утерянным навсегда, если вид исчезнет. Используя генетические и молекулярные методы, исследователи восстанавливают ход исторического развития вида, что позволяет в какой-то степени оценить уязвимость вида, которая тем выше, чем более длинная история «за плечами» данного вида. Подобный подход позволяет перейти от составления длинных не всегда обоснованных списков вымирающих видов к более точному определению наиболее уязвимых видов.

Исследования в этом направлении весьма перспективны для эффективного решения проблем сохранения биоразно-

образия. Хорошей иллюстрацией эффективности такого подхода стало опубликование международной группой учёных из Китая, США, Британии, Израиля, России и Катара комплексной молекулярно-генетической модели, позволяющей поновому оценить структуру популяций разных подвидов тигра и отношения между ними (Hao-Ran Xue et al., 2015). Впервые учёные комплексно описали историческое формирование вида и сам процесс его разделения на подвиды.

Отдавая должное работам по исследованию исторического развития видов, находящихся под угрозой исчезновения, следует признать, что наиболее эффективным путём сохранения биологического разнообразия служит защита среды обитания, содержащей здоровые неповреждённые биотические сообщества. Повидимому, это единственный надёжный путь сохранения видов, так как ресурсы и знания, которыми располагают в настоящее время современные наука и практика, достаточны только для того, чтобы спасти в неволе лишь малую часть мировой фауны. Некоторые специалисты настаивают на том, что целью сохранения в первую очередь должны быть сообщества и экосистемы, а не отдельные виды (Grumbine, 1994). Сохранение сообществ позволяет сохранить большое число видов в самовоспроизводящейся структуре, тогда как сохранение отдельных видов зачастую сложно, дорого и неэффективно. Имеются четыре средства сохранения биотических сообществ: организация заповедных территорий, эффективное управление этими территориями, реализация методов сохранения вне заповедных территорий и восстановление биотических сообществ в разрушенной среде обитания.

Первый вопрос, на который необходимо ответить при организации заповедных

территорий, состоит в определении приоритетов сохранения видов и сообществ. Несмотря на то, что основная функция заповедников — не просто служить эталоном природы для экологических исследований, а гарантировать здоровое состояние среды и тем самым поддерживать экологическую устойчивость, на практике при выделении заповедных территорий чаще других используются три следующих критерия:

*Уникальность.* Биотическому сообществу присваивается статус более высокого природоохранного приоритета, если оно состоит в основном из редких эндемичных видов по сравнению с сообществом, образованном обычными широко распространенными видами;

*Уязвимость.* Виды, стоящие на грани вымирания, требуют более высокого приоритета по сравнению с теми, которым не грозит вымирание;

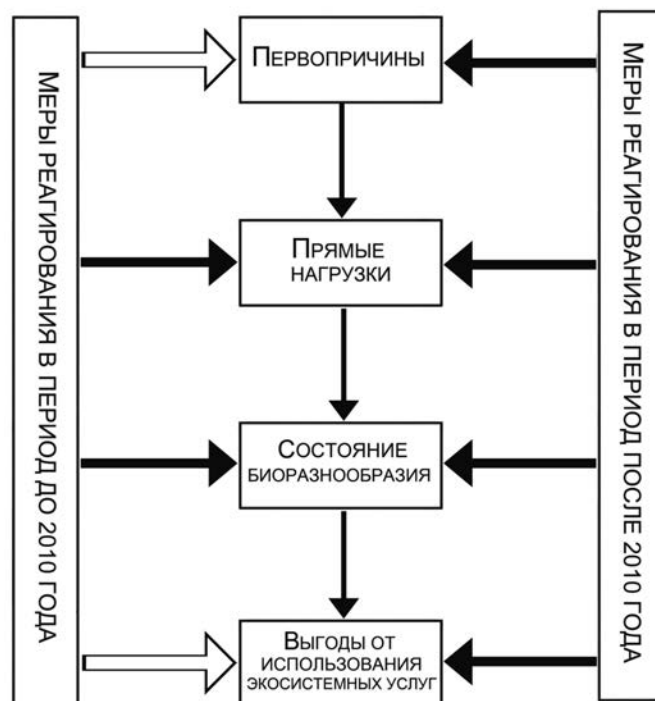
*Полезность.* Виды, представляющие для человека ценность в настоящем или в будущем, заслуживают более высокого приоритета по сравнению с видами, не приносящими очевидной пользы. Так, например, дикие родственники пшеницы потенциально могут быть полезны при селекции улучшенных культурных сортов, так как обладают большим резервом генетического разнообразия. Внимание человека привлекают также биотические сообщества, имеющие общую экономическую ценность, например, заболоченные участки побережья.

На 1998 г. в мире насчитывалось около 4500 строго охраняемых природных территорий, которые покрывали площадь в 500 млн га, и 5899 частично охраняемых территорий, покрывавших 348 млн га (Примак, 2002). На первый взгляд эти цифры кажутся впечатляющими, но на деле такие территории составляют лишь

6% поверхности суши. И только 4% общей поверхности суши попадает под режим строгой охраны в статусе научных заповедников, национальных парков, национальных памятников природы. Соотношение охраняемых и неохраняемых территорий сильно варьирует в разных странах. Кроме того, следует отметить, что сохранение морских акваторий заметно отстает от охраны территорий суши. В настоящее время только 1% морских акваторий включён в число охраняемых, в то время как для сохранения уменьшающихся рыбных запасов требуется придать такой статус 20% акваторий (Costanza et al., 1998).

Нередко задачу охраны того или иного природного комплекса нельзя решить в рамках одной особо охраняемой природной территории (ООПТ), что заставляет специалистов объединять ресурсы нескольких ООПТ. Создание сетей ООПТ ведётся в большинстве стран мира. Идея образования экологических сетей закономерно развивалась от региональных и местных проектов до программ на континентальном уровне, с целью интеграции существующих и планируемых охраняемых территорий. В этом состояла конечная цель Директивы ЕС по местообитаниям: образовать к 2004 г. всеобъемлющую сеть охраняемых территорий, известную как «Природа 2000». Эта сеть помогает выполнить обязательства, взятые в рамках Конвенции по биоразнообразию, а также предоставляет средство гарантировать охрану видов и местообитаний, перечисленных в названной Директиве.

Существующая сеть ООПТ работает лучше, чем гипотетическая сеть, равномерно покрывающая Землю, но несколько хуже, чем альтернативная сеть с такой же общей охраняемой площадью, но с предпочтительным размещением запо-



**Рис. 2.** Меры реагирования на утрату биоразнообразия до и после 2010 г.

**Fig. 2.** Measures of reaction on biodiversity loss before and after 2010.

ведников в тропических регионах. Несомненно, сеть охраняемых территорий с имеющейся на данный момент общей площадью была бы особенно эффективна, если бы она охватывала 25 признанных наиболее значимыми по биоразнообразию мест земного шара (Myers et al., 2000). Такие места, получившие название «горячие точки» биоразнообразия, составляя ничтожную часть всей поверхности суши, включают 44% видов сосудистых растений, 35% птиц, млекопитающих, рептилий и амфибий. Большинство «горячих точек» биоразнообразия приурочено к тропикам, горным районам и островам. Значительная концентрация в них видов, подверженных риску исчезновения, объясняется не только высоким уровнем эндемизма,

но и тем, что тёплые влажные регионы тропиков населены видами, имеющими солидный геологический возраст. Такие виды жёстко связаны со своей благоприятной, неменяющейся длительное время средой, что делает их особо уязвимыми к антропогенному воздействию на среду их обитания: исчезают тропические леса — исчезают и многие населяющие их виды. Недаром «горячие точки» биоразнообразия порой рассматривают либо как «колыбель» биоразнообразия, либо как его «музей» (Mace et al., 2003).

#### **4. Причины, по которым цели не были достигнуты**

Несмотря на отдельные успехи в деле сохранения биоразнообразия, к числу которых можно отнести спасение отдель-

ных видов и популяций, организацию ООПТ, общая негативная тенденция сокращения биоразнообразия сохраняется. В 2002 г. в Йоганнесбурге на Второй международной конференции ООН по окружающей среде и развитию мировые лидеры постановили достичь существенного сокращения темпов утраты биоразнообразия к 2010 г. в форме вклада в борьбу с нищетой и на благо всех форм жизни на Земле. К настоящему времени стало очевидным, что поставленных целей достичь не удалось.

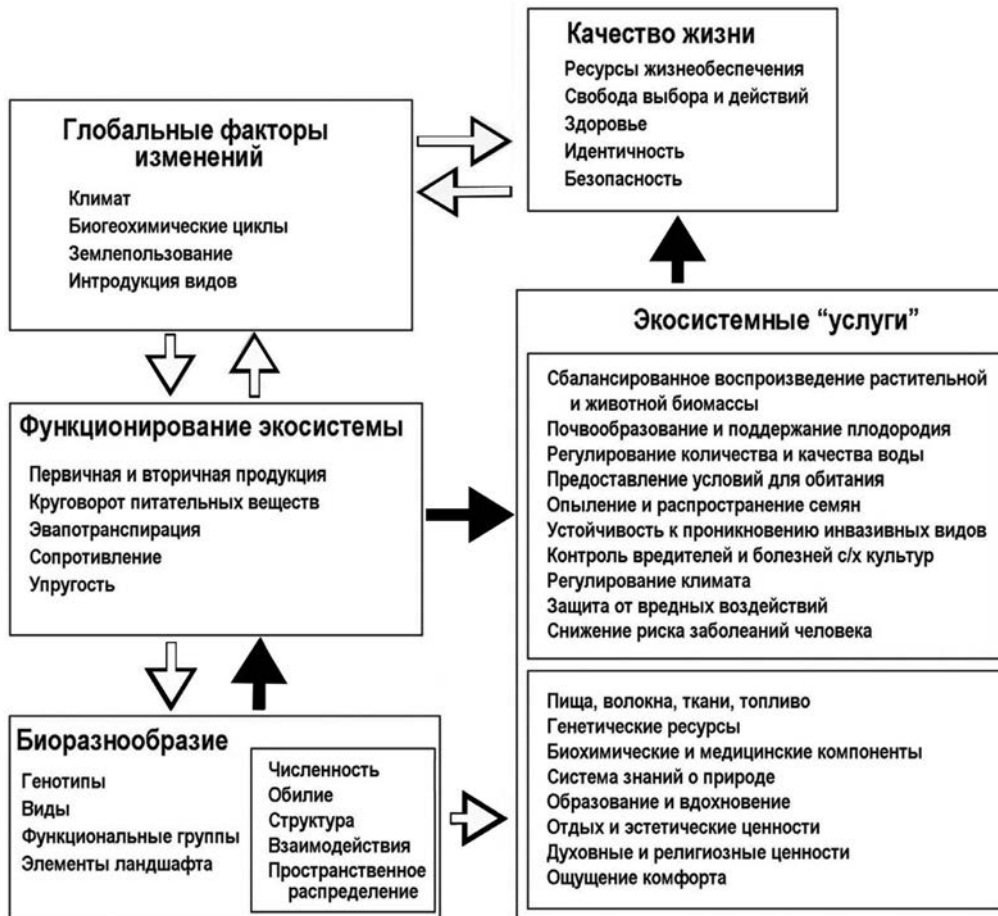
Итоги реализации намеченной на 2010 г. цели подведены в третьем докладе «Глобальная перспектива в области биоразнообразия» (2010). Анализ итогов реализации поставленной цели позволяет сделать ряд выводов, которые необходимо учитывать при планировании и координации дальнейшей деятельности, направленной на замедление темпов сокращения биоразнообразия. Основной вывод состоит в том, что меры реагирования на сокращение биоразнообразия в период до 2010 г. ограничивались учётом прямых нагрузок и реакции на них (рис. 2). 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.

От внимания исследователей ускользала взаимосвязь первопричины, например, растущей потребности населения в ресурсах, с факторами угрозы для биоразнообразия, например, упрощением структуры экосистем, их 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 учёт в достаточной степени услуг, предоставляемых экосистемами (рис. 3). Структура экосистемных услуг включает три жизненно важных блока: обеспечивающие услуги, регулирующие услуги, услуги культурного характера. Обеспечивающие услуги (пища, различные материалы, топливо и т. п.) иногда рассматривают как составляющие прямой коммерческой ценности биоразнообразия в противовес непрямой коммерческой ценности, которая, собственно, и составляет услуги. Каждый из этих блоков и все они вместе в различных комбинациях обеспечивают такие составляющие высокого качества жизни человека, как материальная основа жизни, безопасность, здоровье и оптимальная структура социальных связей.

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. 4) показывает, что сокращение экосистемных услуг автоматически вызывает рост первопричин, т. е. вся система действует по принципу обратной связи, где биоразнообразие выступает в роли «рабочего элемента». Отсюда следует вывод о необходимости усиления мер по сохра-



**Рис. 3.** Влияние биоразнообразия на качество жизни человека и уязвимость биоразнообразия по отношению к глобальным факторам.

**Fig. 3.** Impact of biodiversity on human life quality and on biodiversity vulnerability to the global factors.

Тёмными стрелками показаны важнейшие связи: влияние биоразнообразия на функционирование экосистем и через это на «экосистемные услуги», от которых зависит качество жизни человека.

Dark arrows show the most important relations: the impact of biodiversity on the functioning of ecosystems, and through that to the “ecosystem services”, on which the human life quality depends.

нению биоразнообразия как основного условия повышения качества жизни людей.

В будущем для обеспечения эффективного сохранения, восстановления и разумного использования биоразнообра-

зия, а также создания условий для эффективной «работы» экосистем, предстоит расширить деятельность, переместив её на новые уровни и в новые масштабы. Для достижения этого предлагается ряд



**Рис. 4.** Упрощенная схема регуляции биоразнообразия по принципу обратной связи. В пунктирной рамке показаны элементы, которые необходимо принимать во внимание с учётом выгод от использования экосистемных услуг.

**Fig. 4.** A simplified scheme of biodiversity regulation by the feedback principle. The dotted frame includes elements that are to be taken into consideration with the regard of benefits of using ecosystem services.

мер, далеко выходящих за рамки сугубо экологических проблем и включающих такие вопросы, как повышение эффективности использования земельных, водных, морских и иных ресурсов, улучшение пространственного планирование 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 тен-

денций к разрушению. Решающую роль должны сыграть национальные программы или законодательства для создания благоприятных условий поддержки инициатив «снизу» при ведущей роли общин, местных органов власти или предприятий.

Общая идея статьи 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 функци-



онировании наших экосистем. В то же время, достижению каждой из них будут способствовать действия по сохранению биоразнообразия и то внимание, которого оно заслуживает.

Внимание к проблемам сохранения биоразнообразия перемещается из чисто экологической сферы в сферу экономических и социальных проблем. Успешное решение проблем сохранения биоразнообразия возможно лишь в рамках концепции «устойчивого развития»: биоразнообразие понимается как своеобразная биологическая матрица, определяющая вектор социального развития человечества.

### Литература

- Алексеев А.С. 2000. Типизация фанерозойских событий массового вымирания организмов. — Вестник Московского госуд. универ. Сер. 4. Геология, 5: 6–14.
- Алтухов Ю.П. 1999. Генетика популяций и сохранение биоразнообразия. — Алтухов Ю.П. (ред.). Энциклопедия. Современное естествознание. Том 2. Общая биология. Москва: Наука Флинта. С. 150–160.
- Бродский А. 2012. Ускользающая реальность. Прошлое, настоящее и будущее биоразнообразия. Санкт-Петербург: ДЕАН. 171 с.
- Вернадский В.И. 1994. Живое вещество и биосфера. Москва: Мысль. 672 с.
- Глобальная перспектива в области биоразнообразия 3. 2010. — Монреаль: Секретариат Конвенции о биологическом разнообразии. 94 с. <https://www.cbd.int/doc/publications/gbo/gbo3-final-ru.pdf>.
- Левченко В.Ф. 2012. Биосфера: этапы жизни (эволюция частей и целого). Санкт-Петербург: Свое Издательство. 263 с.
- Примаков Р.Б. 2002. Основы сохранения биоразнообразия. Москва: Изд-во НУМЦ. 255 с.
- Протасов А.А. 2014. Макроструктура биосферы и место в ней биогеома. — Биосфера, 5 (4): 384–392.
- Флинт В.Е. 2002. Сохранение редких видов в России (теория и практика). — Гусев М.В., Мелехова О.П., Романова Э.П. (ред.). Сохранение и восстановление биоразнообразия. Москва: Изд-во НУМЦ. С. 11–109.
- Хански И. 2010. Ускользающий мир. Экологические последствия утраты местообитаний. Москва: Т-во науч. изд. КМК. 340 с.
- Яблоков А.В., Левченко В.Ф., Керженцев А.С. 2015. Очерки биосферологии 1. Выход есть: переход к управляемой эволюции биосферы. — *Philosophy & Cosmology*, 14: 92–118.
- Costanza R., Andrade F., Antunes P. et al., 1998. Principles for sustainable governance of the oceans. — *Science*, 281: 198–199.
- Grumbine E.R. 1994. What is ecosystem management? — *Conservation Biology*, 8 (1): 27–38.
- Hao-Ran Xue, Nobuyuki Yamaguchi, Carlos A. Discoll et al. 2015. Genetic Ancestry of the Extinct Javan and Bali Tigers. — *Journal of Heredity*, 106 (3): 247–257.
- Mace G.M., Gittleman J.L., Purvis A. 2003. Preserving the Tree of Life. — *Science*, 300: 1707–1709.
- Myers N., Mittermeier R.F., Mittermeier C.G. et al. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. — *Nature*, 403: 853–858.