

Ключевая экономическая ценность средообразующие функции живой природы и новая стратегия природопользования

*Е.Н. Букварева¹
ИПЭЭ РАН им. А.Н. Северцова*

Средообразующие функции живой природы являются самыми важными для человека, поскольку создают и поддерживают пригодные для него условия жизни на Земле. Устойчивое выполнение средообразующих функций природными экосистемами обеспечивает стабильность среды, что является необходимой основой любого экономического развития. Однако ценность этих функций практически не учитывается современной экономикой. Это является одним из основных факторов деградации экосистем и природной регуляции среды.

Основой эффективности и устойчивости экосистемных функций является биологическое разнообразие - как видовое, так и внутривидовое. При любых нарушениях биоразнообразия и структуры биосистем следует ожидать деградации средообразующих функций.

Сегодня необходим переход к новой экологоцентрической концепции природопользования, которая выдвигает на первый план ключевую ценность средообразующих функций живой природы и необходимость ее интеграции в экономику. Экспертиза целесообразности всех хозяйственных проектов, связанных с воздействием на природу, должна включать оценку изменения биологического разнообразия и средообразующих функций природных биосистем.

Введение

Рост мировой экономики во второй половине XX века был достигнут, во многом, за счет истощения природных ресурсов и деградации природных экосистем. К сегодняшнему дню человек уничтожил или сильно изменил большую часть продуктивных экосистем суши, а современная скорость исчезновения видов живых организмов многократно превышает этот показатель в прежние исторические эпохи (Millennium..., 2005). По данным Всемирного союза охраны природы из 40 тыс. прошедших оценку видов, под угрозой исчезновения находится 40% (www.iucnredlist.org). Темпы потребления ресурсов биосферы человечеством по многим показателям превышают ее способность воспроизводить их (Живая планета, 2008).

Амстердамская декларация 2001 г.², подчеркивает, что по ряду ключевых параметров масштабы изменений природы Земли беспрецедентны и перекрывают границы, отмеченные за последние полмиллиона лет. Сегодня Земля функционирует в новом состоянии, обсуждается необходимость введения новой геохронологической эпохи – «антропоцена» (Crutzen, Stoermer, 2000).

В этих условиях необходимо формирование новой концепции природопользования и переход от нынешней социально-экономической модели наращивания потребления ресурсов биосферы к устойчивому взаимодействию с ней. Об этом сегодня пишут многие ученые (см. Павлов и др., 2009, 2010)

1. Ключевая ценность средообразующих функций живой природы

Живая природа выполняет жизненно важные для человека функции, без которых мы не смогли бы существовать на Земле. В Национальной Стратегии сохранения биоразнообразия России (2001) они определены как средообразующие³, продукционные, информационные и духовно-эстетические функции.

¹ Другие публикации представлены на сайте <http://optimum-biodiversity.narod.ru/>

² Декларация принята на конференции «Вызовы изменяющейся Земли» в июле 2001 г. в Амстердаме участниками международных неправительственных программ: Международной геосферно-биосферной программы (МГБП/IGBP), Международной программы по «человеческим измерениям» глобальных изменений (МПЧИ/ИНДП), Всемирной программы исследований климата (ВПИК/WCRP), программы DIVERSITAS по проблеме биоразнообразия (<http://www.igbp.net/documents/amsterdam-declaration.pdf>)

³ В международных документах средообразующие функции делятся на «поддерживающие» и «регулирующие»

Сегодня в экономике наиболее полно учитывается ценность производственной функции (изъятых из экосистем морепродуктов, древесины, охотничьей продукции и т.п.) – в тоннах, кубометрах, миллиардах долларов. В последние годы быстро развиваются механизмы интеграции в экономику ценности информационных функций биоразнообразия. Объемы мировых рынков генетических ресурсов и экологического туризма⁴ сегодня уже сопоставимы с мировой торговлей морепродуктами и древесиной, а по данным проекта ТЕЕВ (The Economics of Ecosystem and Biodiversity; <http://www.teebweb.org/>), объем рынка генетических ресурсов уже превышает рынки морепродуктов и древесины.

Наименее развиты механизмы включения в экономику ценности средообразующих функций живой природы. А между тем, именно эти функции являются самыми важными для человечества, поскольку непрерывная деятельность живых организмов создает и поддерживает пригодные для него условия жизни на Земле.

Основными средообразующими функциями природных биосистем являются следующие:

- поддержание биогеохимических циклов вещества;
- поддержание газового баланса и влажности атмосферы,
- стабилизация климатических показателей,
- формирование устойчивого гидрологического режима территорий и самоочищение природных вод;
- формирование биопродуктивности почв и защита их от эрозии;
- уменьшение интенсивности экстремальных природных явлений (наводнений, засух, жары, ураганов и др.) и ущерб от них;
- биологическая переработка и обезвреживание отходов;
- биологический контроль структуры и динамики биотических сообществ и отдельных видов, имеющих важное хозяйственное и медицинское значение.

Сегодня основное внимание привлечено к изменениям климата и к антропогенным выбросам парниковых газов – прежде всего CO₂. Однако антропогенные выбросы составляют лишь несколько процентов от общего потока углерода в биосфере (3,4% по данным МГЭИК, 2007). Например, микробное разложение органики в почве в 7 раз больше его промышленной эмиссии (Заварзин, Кудеяров, 2006). Запасы углерода в биомассе, почве, торфе и мерзлоте в тысячи раз превышают мощность его антропогенных потоков. Таким образом, основным регулятором глобального углеродного цикла являются природные экосистемы. Даже небольшое (относительно их общей мощности) изменение их функций окажет настолько сильное влияние на концентрацию парниковых газов в атмосфере, что может свести на нет все усилия по сокращению их промышленных выбросов. Уничтожив или нарушив большую часть продуктивных наземных экосистем, человек снизил мощность наземной части природной системы регуляции углеродного цикла почти наполовину. Этот фактор играет важную роль в процессах разбалансировки климатической системы Земли.

В отношении учета ценности экосистемных функций регуляции углеродного цикла достигнут существенный прогресс. Это касается, прежде всего, программы REDD, нацеленной на сохранение и восстановление лесов как природных хранилищ углерода. Она была запущена в 2007 г. и развивается очень быстро. Сегодня фонды программы составляют 169 млн. долларов, участниками программы являются 37 развивающихся стран и 11 развитых стран-доноров (<http://www.un-redd.org/>; <http://www.forestcarbonpartnership.org/fcp>). Прогнозируемые объемы рынка экосистемных услуг по программе REDD сопоставимы с объемами мировой торговли древесиной (Miles and Karos, 2008) Но программа REDD нацелена только на тропические леса, в то время как крупнейшие запасы углерода находятся в почвах, торфе, мерзлоте северных экосистем. Для бореальных экосистем – лесов, болот, тундр – нужна аналогичная программа.

⁴ Экономическое значение экологического туризма можно отнести к использованию прежде всего информационных функций биоразнообразия, так как основным «товаром» в этом случае является красота нетронутой природы, уникальные природные объекты, возможность наблюдения за растительным и животным миром. Если же говорить о возможностях оздоровительного отдыха людей на природе, в том числе в различных пансионатах, санаториях и на курортах, то тут первостепенное значение имеют средообразующие функции.

Однако «углеродная» функция – не единственная, а может быть, даже не главная средообразующая функция природных экосистем. Не менее важны биогеофизические функции экосистем по регуляции потоков энергии и влаги между поверхностью Земли и атмосферой.

Природная растительность, особенно леса, испаряет большое количество влаги, которая снова выпадает в данном регионе виде осадков. Коэффициент циркуляции осадков для лесных территорий составляет до 50%⁵ (Szeto et al., 2008; Eltahier, Bras, 1994). Моделирование показывает, что экосистемы могут существенно увеличивать количество осадков во внутриматериковых областях (рис. 1; Betts, 1999).

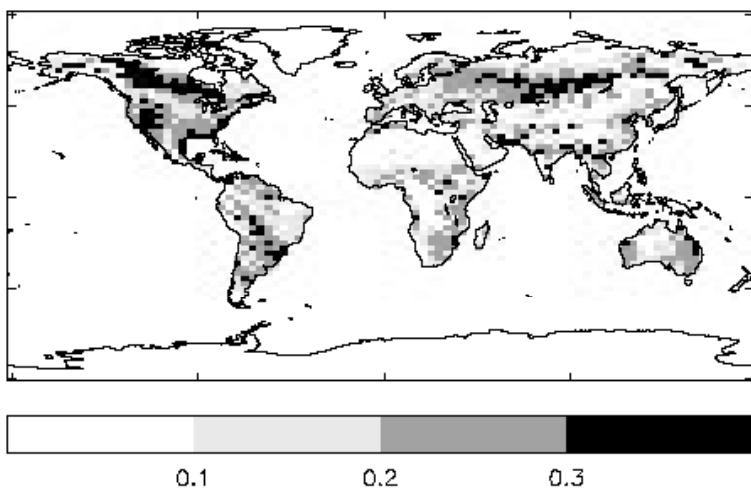


Рис. 1. Результат моделирования: показано насколько растительность увеличивает долю воды, которая испаряется и возвращается в виде локальных осадков. Черные пиксели соответствуют увеличению доли воды, вовлеченной в региональный цикл осадков более, чем на 30% (Betts, 1999).

Испарение лесами огромного количества влаги формирует режим циркуляции воздушных масс, увеличивающий поступление влажного воздуха от океана вглубь континента - «биотический насос атмосферной влаги» (Горшков, Макарьева, 2006). Влага в воздухе не поднимается на большую высоту, так как на определенном уровне из-за охлаждения она конденсируется, формирует облака и выпадает в виде осадков. Влажный воздух переносится только в приземном слое атмосферы и, как правило, из областей с меньшим испарением в области с большим испарением. Поэтому при наличии леса влажный воздух идет со стороны океана на континент и увеличивает количество осадков, а при уничтожении растительности направление движения воздуха в приземном слое меняется на противоположное, начинается иссушение климата и сокращение стока рек (рис.2).

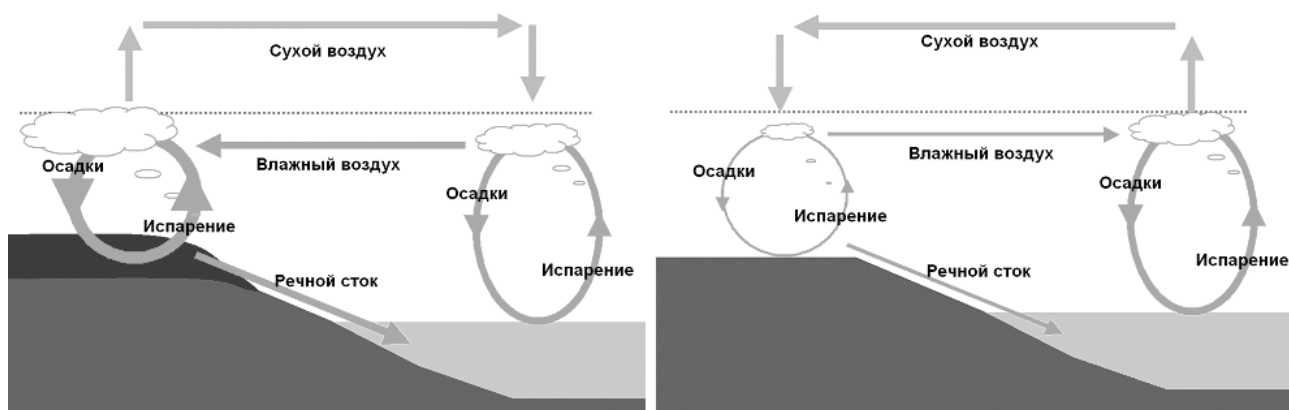


Рис.2. Различия в потоках влажного воздуха при наличии мощной растительности и без нее в результате работы механизма «биотического насоса атмосферной влаги»

Особенно важную роль природные экосистемы играют в формировании гидрологического режима равнинных территорий, удалённых от океана, что отмечалось ещё в начале прошлого

⁵ Для бореальных экосистем это относится к летнему времени

века (Берг, 1922). Можно сказать, что в глубине континентов вода есть, во многом, благодаря климаторегулирующим функциям экосистем.

Роль экосистем в регуляции запасов доступной пресной воды зависит от масштаба нарушений. При частичном или полном уничтожении лесной растительности на небольших территориях (единицы - десятки км²) объем стока рек увеличивается, а в результате лесопосадок, наоборот, сокращается (Calder et al., 2007; Da Silva et al., 2008). Это объясняется более сильным потреблением и испарением воды деревьями по сравнению с другой растительностью. Однако при переходе к более крупным территориям (сотни и тысячи км²) картина меняется, так как начинает сказываться эффект климаторегулирующих функций леса. Масштабное уничтожение лесов ведет к иссушению регионального климата. Сегодня это происходит в бассейне Амазонки, где скорость сведения лесов наиболее высока. Показано, что по мере роста обезлесенной площади осадки сокращаются, региональный климат иссушается, растет число пожаров. Положительная обратная связь между сокращением площади леса и иссушением климата ведет к замещению тропического леса сухими саванноподобными сообществами. По прогнозам, вырубка более 30% амазонских лесов может привести к необратимому изменению экосистем и климата в регионе. (Da Silva et al., 2008; Foley et al., 2007; Nepstad et al., 2008; Phillips et al., 2009). Экономический ущерб от увеличения частоты и силы засух и пожаров, усиления эрозии почв, пересыхания водоемов велик уже сегодня, и будет нарастать в будущем, если не прекратиться сведение лесов.

В Китае к началу 1990-х годов ежегодный ущерб от массового сведения лесов составлял 12 % ВВП, при этом его основная часть (92%) была результатом деградации средообразующих функций леса (рис. 3; Yu-Shi et al., 1997), которая привела к катастрофической ветровой и водной эрозии почв, пыльным бурям, опустыниванию, загрязнению океана речными выносами грунта и почвы (огромные масштабы этой эрозии хорошо видны на космических снимках). Следует отметить, что в последние годы в Китае выделяются большие средства на восстановление лесов и сегодня 70% мирового прироста площади лесов происходит именно за счет китайских лесопосадок (Global Forest Resources..., 2006)

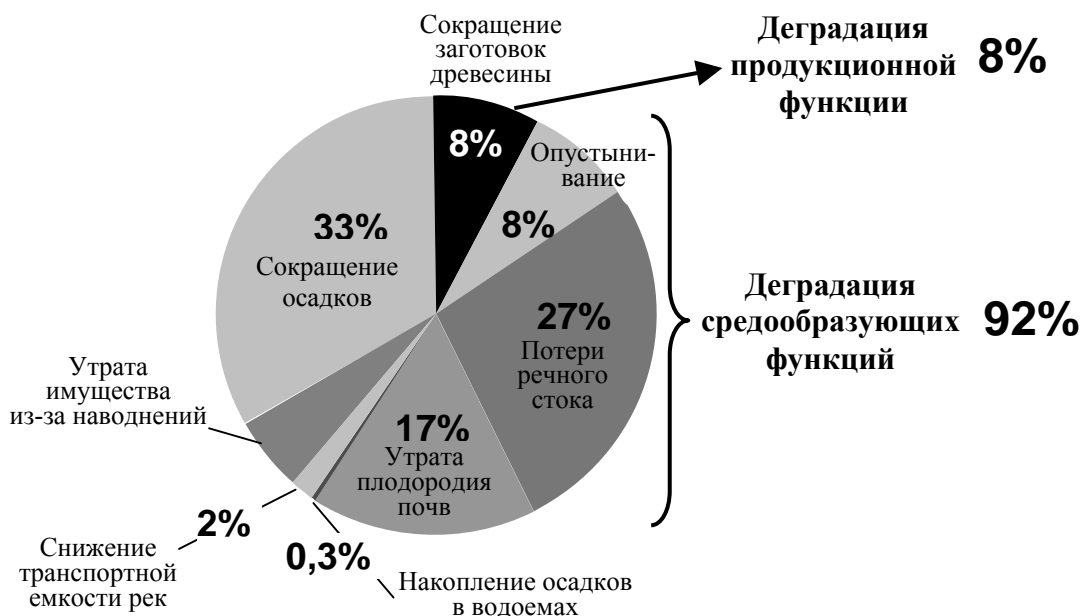


Рис.3. Структура экономического ущерба от уничтожения лесов в Китае (начало 1990-х гг.)

В начале 2000-х гг. лесные и торфяные пожары в центре и на северо-западе Европейской части России нанесли большой материальный ущерб и вред здоровью населения не только непосредственно в районах пожаров, но и в крупных городах (Москва, Санкт-Петербург и др.). Этот ущерб является результатом утраты функции регулирования гидрологического режима территорий из-за разработки торфяных залежей и осушения лесов.

Огромный ущерб приносит ослабление экосистемных функций по предотвращению наводнений и уменьшению их мощности. Так, увеличение ущерба от наводнений в Европе за последнее десятилетие во многом является следствием уничтожения природных экосистем - осушения болот, сведения лесов, канализации рек, покрытия больших площадей твердыми материалами (Ежегодник ГЭП, 2006). В США после большого наводнения в 1993 г. было показано, что вложение 2-3 млрд. долларов в восстановление 5,3 млн. га водно-болотных угодий и заболоченных лесов в верховьях рек Миссисипи и Миссури может предотвратить ущерб в 16 млрд. долларов в случае наводнения (Postel, 2008)

Увеличение экономического ущерба и гибели людей от ураганов и цунами (в том числе, от урагана Катрина в 2005 г. и от цунами в Индийском океане 2004 г.) связано с уничтожением природных водно-болотных экосистем на побережьях, которые снижали силу ветра и уровень подъема воды. В последние годы в ряде стран тропического пояса введены в действие программы по восстановлению мангровых зарослей в целях защиты побережья от ураганов. По последним подсчетам (Costanza et al., 2008), ежегодная стоимость функции водно-болотных угодий США по защите от ураганов составляет 23 млрд. долларов.

Ключевая роль естественной растительности, и в первую очередь лесов, в обеспечении качества воды и предотвращении эрозии почв сегодня является общепризнанной (Calder et al., 2007). Очевидно, что любые нарушения природных экосистем приводят к снижению этих функций. Программы по сохранению и восстановлению природных экосистем на водосборах для обеспечения населения качественной водой сегодня реализуются во многих странах мира (Payments for ecosystem services..., 2008; Postel, Thompson, 2005). На примере многих речных бассейнов было показано, что наличие обширных лесов делает воду более чистой, что удешевляет стоимость ее очистки (рис.4). Пример с водообеспечением Нью-Йорка, когда меры по сохранению и восстановлению экосистем оказались дешевле строительства дополнительных систем фильтрации воды, стал хрестоматийным.

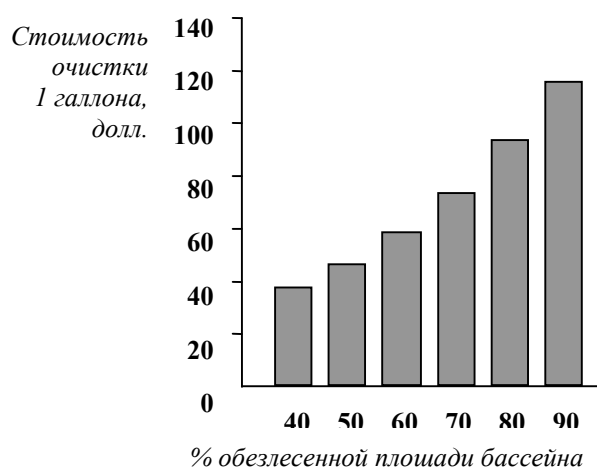


Рис.4. Стоимость очистки 1 галлона (3,8 л) воды, данные по 27 речным бассейнам США (Postel, Thompson, 2005)

Многочисленные примеры развития механизмов платы за экосистемные услуги на уровне отдельных стран, бизнес-корпораций, местных сообществ можно найти в изданиях Valuing ecosystem services, 2004; Payments for Ecosystem..., 2008; Ranganathan J. et al. 2008; а также в отчетах проекта ТЕЕВ - The Economics of Ecosystem and Biodiversity (www.teebweb.org), на сайте проекта Ecosystem Services (www.ecosystemservicesproject.org/), а также в «Библиотеке по экосистемным функциям и услугам Центра охраны дикой природы» (www.biodiversity.ru/programs/ecoservices/library.html)

2. Биологическое разнообразие – основа эффективности и устойчивости экосистемных функций

подавляющее большинство современных форм экономического развития сопряжено с нарушением природных сообществ и популяций. Потому принципиально важными являются вопросы о том, как эффективность средообразующих функций зависит от уровня нарушений

экосистем и в какой степени антропогенно модифицированные экосистемы могут выполнять средообразующие функции. За последние 20 лет исследования роли биоразнообразия в осуществлении экосистемных функций стали одним из наиболее актуальных и быстроразвивающихся направлений экологии. Рост работ в этой области имел лавинообразный характер. Наряду с большим числом отдельных исследований с начала 1990-х годов ведется ряд масштабных международных проектов по исследованию влияния биоразнообразия на экосистемное функционирование⁶. По результатам этих исследований сделаны следующие основные выводы: 1) при снижении числа видов или их функциональных групп мощность экосистемных функций как правило снижается; 2) зависимость устойчивости экосистемного функционирования от видового разнообразия имеет менее очевидный характер, но, все же, можно сделать предварительный вывод об общей тенденции снижения устойчивости функций при сокращении разнообразия.

Таким образом, в ответ на запросы «лиц принимающих решения» ценой огромных научных усилий была доказана вполне очевидная для биологов закономерность – что функционирование экосистем ухудшается, если искусственно снижать их видовое разнообразие (рис.5; Hector et al, 2001; Schwartz et al, 2000).

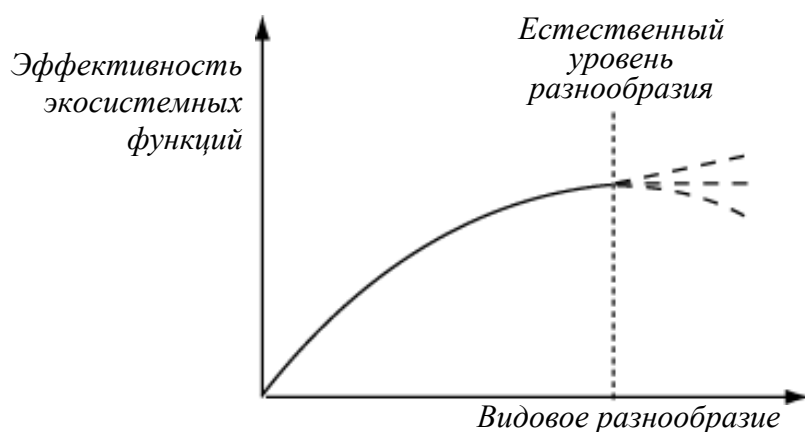


Рис. 5. Обобщенный вид зависимости экологических функций сообществ от их разнообразия.

Однако важно не только разнообразие видов в экосистемах, но и разнообразие внутри видов и популяций. Дело в том, что экосистемные, в том числе средообразующие, функции выполняют не только экологические сообщества и экосистемы, но и виды живых организмов и отдельные популяции. Представители каждого вида живых организмов в составе сообщества играют определенную роль. Их воздействие на биотические и абиотические компоненты среды и можно считать экосистемной функцией вида или популяции. С этой точки зрения можно рассматривать популяции как «единицы, обеспечивающие услуги (service-providing units)» (Luck et al., 2003). В конечном счете, функционирование экосистемы определяется эффективностью и устойчивостью функций входящих в нее видов и популяций, что, в свою очередь, зависит от их внутреннего разнообразия.

Одна из групп живых организмов, которая наиболее ярко демонстрирует ключевое значение внутривидового разнообразия для функционирования видов в составе экосистем – рыбы (примеры см.: Павлов, Букварева, 2007). Например, показано, что озерные и речные популяции многих видов рыб представляют собой комплексы внутривидовых форм, различающихся как морфологически, так и экологически (прежде всего – по особенностям питания). Широкий спектр экологических вариаций позволяет этим видам устойчиво существовать в нестабильных условиях среды и максимально полно использовать ресурсы. Один из наиболее ярких примеров - камчатские популяции микижи⁷, которые в разных реках

⁶ Проект ecoSERVICES в рамках программы DIVERSITAS; программа долговременных экологических исследований в США (LTER - Long Term Ecological Research); проект BIODDEPTH (BIODiversity and Ecosystem Processes in Terrestrial Herbaceous Ecosystems); проект Ecotron - изучение искусственных лабораторных сообществ.

⁷ Один из видов лососевых рыб

характеризуются специфическим соотношением жизненных стратегий (проходная, речная, эстуарная и др.), что можно рассматривать как адаптацию популяций к местным условиям - наличию корма и нерестилищ, температурному режиму водоема и др. (Павлов и др., 2001). Комплексы различных жизненных стратегий характерны и для других видов лососевых рыб. Если учесть их ведущую роль в экосистемах лососевых рек и их определяющее влияние на потоки вещества между морскими и речными экосистемами, то важность внутривидового разнообразия для экосистемных функций становится очевидной.

Таким образом, внутривидовое разнообразие является основой стабильности и эффективности экологических функций вида в изменчивых условиях среды.

В соответствии с принципом оптимального разнообразия биосистем (Букварева, Алещенко, 2005; 2010), параметры видового и внутривидового разнообразия представляют собой взаимосвязанную систему, адаптирующуюся к условиям среды как единое целое. Этот принцип предполагает, что жизнеспособность и эффективность биосистем максимальна при определенных оптимальных значениях их внутреннего разнообразия (рис.6): видового – для сообществ, внутривидового – для видов и внутривидового – для популяций. Роль разнообразия на разных уровнях иерархии биосистем различается: внутривидовое разнообразие является основой адаптации популяций и сообществ к нестабильности среды; видовое разнообразие позволяет сообществу в целом более эффективно использовать ресурсы за счет дифференциации ниш. Адаптивная реакция биосистем на дестабилизацию среды заключается в увеличении внутривидового разнообразия и сокращении числа видов в сообществе.

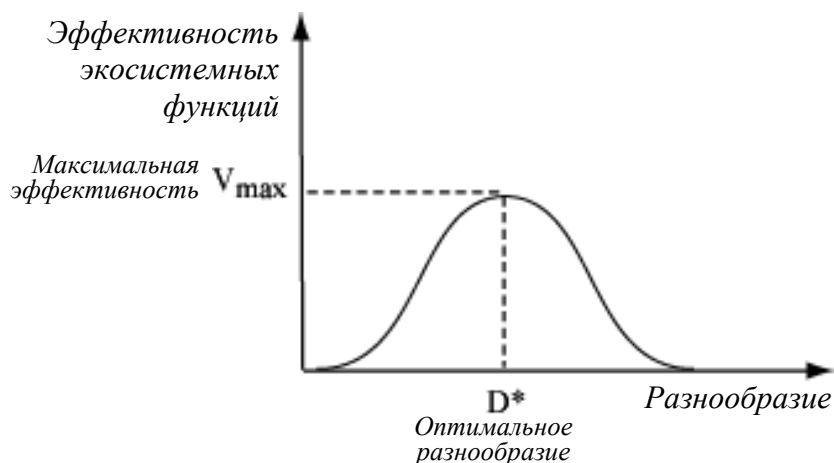


Рис. 6. Оптимальное разнообразие как условие максимальной жизнеспособности биосистемы.

Можно предположить, что механизмы формирования биоразнообразия и структурной адаптации биосистем к изменениям среды работают таким образом, что постоянно осуществляется «настройка» их характеристик на оптимальные значения. Характеристики ненарушенных природных систем, находящихся в исторически типичной для них среде, можно считать наиболее близкими к оптимальным показателям. Поэтому любые нарушения биоразнообразия, а также искусственные препятствия для адаптации биосистем к изменениям среды⁸ будут приводить к деградации их экосистемных функций.

Таким образом, биологическое разнообразие, как видовое, так и внутривидовое, является основой эффективности и устойчивости экосистемных функций. Поэтому огромную опасность представляет не только полное уничтожение природных экосистем, но также нарушение их естественной структуры и антропогенное изменение уровней видового и внутривидового разнообразия.

Надо подчеркнуть, что критериями ценности биосистем должны быть не формальные показатели биоразнообразия (например, число видов), а степень его соответствия естественным

⁸ Например, в условиях антропогенной и климатической дестабилизации среды промысел, ведущий к сокращению внутривидового разнообразия, подрывает возможности видов адаптироваться к этим изменениям среды.

показателям, которые обеспечивают максимально эффективное выполнение экосистемных функций. Хорошо известно, что болота имеют низкие показатели видового разнообразия, но при этом выполняют чрезвычайно важные средообразующие функции. Можно сказать, что низкое видовое разнообразие в этом случае оптимально для выполнения функций экосистем в данных условиях среды. Долгое время внимание мировой природоохранной общественности было приковано к тропическим странам, где сосредоточено основное видовое разнообразие. 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 несколько не умаляет их роль в биосферной регуляции. Природные экосистемы, виды и популяции имеют уровни разнообразия 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 повышенным внутривидовым и внутривидовым разнообразием, что обеспечивает эффективное выполнение биосферных функций.

Ключевое значение биоразнообразия для поддержания стабильности окружающей среды и устойчивого развития общества подчеркивают Конвенция о биологическом разнообразии (1992), Национальная стратегия сохранения биоразнообразия России (2001), доклад «Оценка экосистем на пороге тысячелетия» (Millenium...,2005). Экологическая доктрина Российской Федерации (2002)⁹ 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».

3. Деградация экосистемных функций при антропогенных нарушениях экосистем

Таким образом, можно сделать вывод, что любая эксплуатация экосистем человеком, связанная с изъятием биомассы, нарушением структуры сообществ, изменением показателей биоразнообразия, ведет к ослаблению функций по регуляции среды. Этот вывод согласуется также с общими представлениями о развитии экологических сообществ. В ходе сукцессии экологических сообществ максимизируется замкнутость циклов элементов питания, совершенствуются механизмы биоценотической регуляции, стабилизируется внутренняя среда сообщества. Поэтому средообразующие функции и механизмы стабилизации среды наиболее совершенны у естественных климаксных сообществ и неизбежно снижаются при нарушениях структуры или переводе в более ранние сукцессионные стадии, что является обычным результатом ресурсной эксплуатации экосистем и других антропогенных нарушений.

Нарушения экосистемных функций регуляции углеродного цикла. Роль экосистемы как поглотителя или источника углерода определяется соотношением скоростей аккумуляции углерода в ходе фотосинтеза и его выделения в процессе дыхания сообщества. К этим потокам следует прибавить выделение углерода при пожарах, а также изъятие его из экосистем человеком. Если учесть, что дыхание экосистем во много раз превосходит объемы всей антропогенной эмиссии, то процессы, происходящие в почве, следует считать ключевым регулятором углеродного цикла, который до сих пор не учитывается в расчетах (Заварзин, Кудеяров, 2006). Нарушения растительности (при вырубках, пожарах, ветровалах и др.), а также дренирование заболоченных экосистем, как правило, ведут к увеличению температуры или уменьшению влажности почвы¹⁰, что усиливает почвенное дыхание и разложение растительной мортмассы, накапливающейся в наземных экосистемах.

Лесные экосистемы после пожаров, рубок или повреждений насекомыми на несколько лет превращаются в источники углерода. Например, после обширных пожаров и поражений насекомыми на рубеже веков в канадских лесах эмиссия углерода превысила его сток, и в

⁹ Экологическая доктрина Российской Федерации. Одобрена распоряжением Правительства Российской Федерации от 31 августа 2002 г. №1225.

¹⁰ В местах с избыточным увлажнением может происходить обратный процесс – заболачивание экосистем из-за снижения испарения воды деревьями.

дальнейшем прогнозируется сохранение этого соотношения в связи с увеличением числа пожаров, вызванных изменениями климата (Kurz et al., 2008)¹¹. Послепожарная эмиссия углерода в результате разложения органики на горячих в несколько раз превышает его выбросы непосредственно во время пожара. Так, на охраняемой территории лесного фонда России в период 1990-2002 гг. эти потоки составили 10,2 и 0,9 тС в год соответственно (Замолотчиков и др., 2005).

Наибольшие выбросы углерода происходят при нарушении болот и других экосистем на заболоченных почвах.

Анализ данных о потоках CO₂ между экосистемами и атмосферой, собранных по программе FLUXNET в разных типах экосистем по всему миру, показал наличие достоверного повышения интенсивности дыхания нарушенных экосистем по сравнению с ненарушенными (рис. 7) (Baldocchi, 2008)

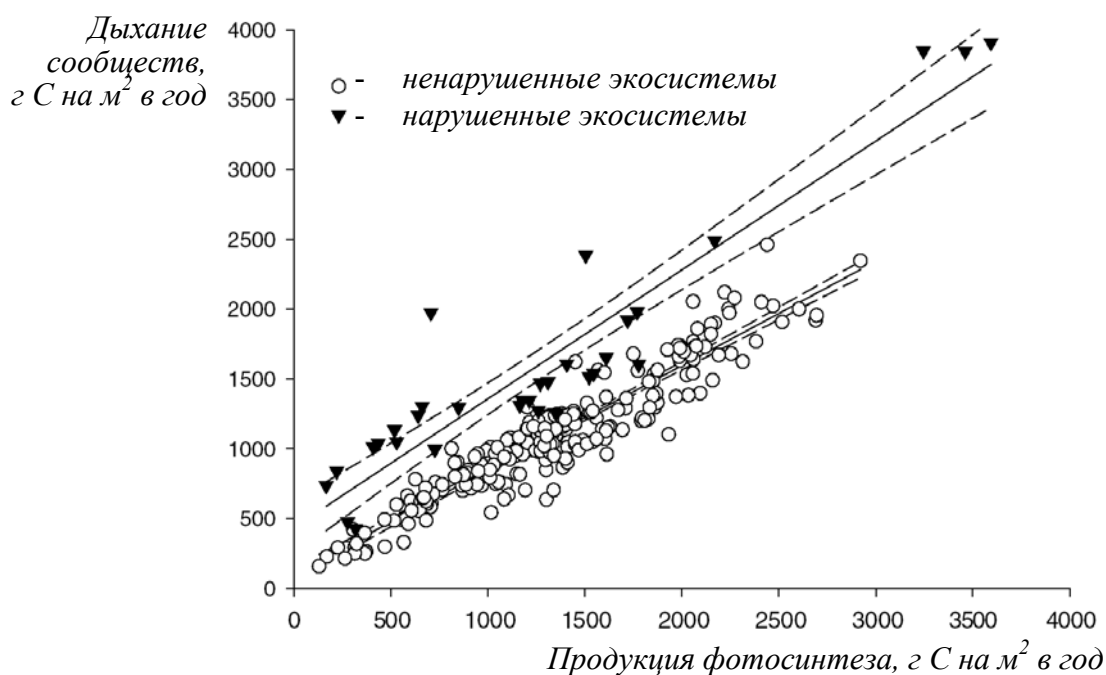


Рис. 7. Соотношение выделения и поглощения углерода при дыхании и фотосинтезе в нарушенных и ненарушенных экосистемах (Baldocchi, 2008). Светлые кружки – ненарушенные экосистемы, тёмные треугольники – нарушенные экосистемы

Стратегия землепользования и интенсивность нарушения экосистем, наряду с воздействием на них климатических изменений, - ключевые факторы, определяющие, какую роль будут играть экосистемы - источников или стоков углерода (Canadell et al., 2007 а).

Нарушения функций регуляции гидрологического режима. Выше были приведены примеры ущерба от нарушений водного режима территорий при масштабном уничтожении лесов. Однако непродуманные проекты лесопосадок, не учитывающие весь комплекс средообразующих функций, также могут привести к негативным результатам. Средообразующие функции наиболее эффективно реализуются типичными для данной местности природными сообществами. Попытки создания посадок быстрорастущих (и во многих случаях чужеродных для данных регионов) пород деревьев для улавливания углерода, особенно в условиях засушливого климата оказались непродуктивными и привели к существенному сокращению

¹¹ Российские леса продолжают выполнять роль стоков углерода (Замолотчиков и др., 2005; Четвертое национальное сообщение Российской Федерации..., 2006), так же как и территория России в целом (Заварзин, Кудеяров, 2006)

стока рек (рис. 8; Foley et al., 2005; Jackson et al., 2005; Jackson et al., 2007)¹². Особенно сильно сокращают речной сток посадки эвкалиптов. В ряде регионов, например, в ЮАР сегодня ведется активная работа по преодолению негативных последствий от распространения чужеродных видов деревьев и восстановлению типичных для этого региона кустарниковых и травяных сообществ (Postel, 2008).

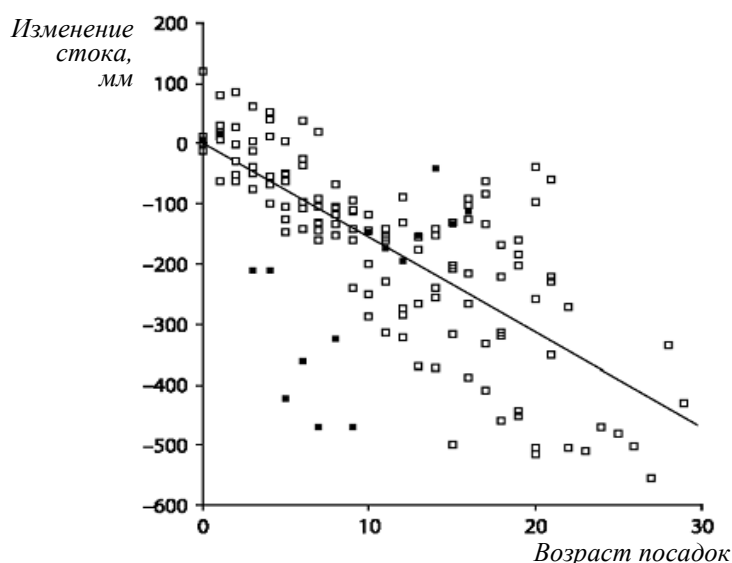


Рис.8. Изменения стока в зависимости от возраста плантаций, данные по 26 водосборным бассейнам, 504 годовых наблюдения (Jackson et al., 2007)

4. Экологическая концепция природопользования

Масштабное сокращение площади природных экосистем и уничтожение биологического разнообразия на планете неизбежно ведёт к деградации системы природной регуляции среды. Человек уже уничтожил или сильно изменил половину продуктивных экосистем суши (территорий, покрытых растительностью), то есть вывел из строя половину наземной части "биосферной машины" регуляции среды. Если раньше последствия антропогенных нарушений экосистем приводили к экологическому ущербу в локальном и региональном масштабах, то сегодня становятся очевидными глобальные последствия этого процесса (Foley et al., 2005; Millennium..., 2005).

С экономической точки зрения, разрушение экосистем и их функций следует рассматривать как потерю основных ресурсных фондов. В последние годы в разных странах мира развиваются механизмы включения в реальную экономику экосистемных функций. Оценка "чистых национальных сбережений" разных стран, проведённая Всемирным банком, показала, что включение потерь, связанных с нарушением природных сообществ, в интегральные экономические показатели, может существенно изменить национальный баланс стран (Millennium..., 2005). Временный рост ВВП, достигнутый за счет чрезмерной эксплуатации природных ресурсов, оборачивается утратой природного капитала страны и возможностей ее устойчивого развития в будущем.

Средообразующие функции природных экосистем оказывают непосредственный экономический эффект на большинство отраслей хозяйства и обеспечивают стабильность условий среды, без которой невозможно не только устойчивое, но и вообще какое бы то ни было экономическое развитие.

В глобальном масштабе экосистемы обеспечивают природную регуляцию среды, заменить которую человеку нечем. Задача полномасштабной замены природных средообразующих функций искусственными аналогами превышает возможности современной цивилизации. Как известно, полностью замкнутую систему жизнеобеспечения даже для одного или нескольких человек на космических станциях до сих пор создать не удалось, несмотря на активные исследования в этой области. Дорогостоящий проект «Биосфера-2» в США (1985 – 2007) закрыт и его основная цель не достигнута.

¹² Функция улавливания и накопления углерода при этом тоже далеко не всегда улучшалась (Jackson et al., 2007).

Поэтому сегодня необходим переход к новой концепции природопользования, которую мы назвали «экологоцентрической», так как она выдвигает на первый план ценность средообразующих функций живой природы (Павлов и др., 2009; Павлов и др., 2010). В качестве основных положений этой концепции мы предлагаем следующие:

- ключевым природным ресурсом следует считать всю живую природу (экологические сообщества, виды, популяции), средообразующие функции которой обеспечивают регуляцию условий среды и стабилизацию биосферного баланса; этот ресурс должен иметь статус экономической категории;
- биологическое разнообразие является основой устойчивого и эффективного функционирования биологических систем жизнеобеспечения на планете;
- система нормативных показателей состояния среды и воздействия человека на среду должна включать характеристики средообразующих функций природных биосистем (экологических сообществ, видов, популяций) и экосистем;
- экологическая экспертиза любого хозяйственного проекта (том числе биотехнологических и нанотехнологических проектов) должна включать оценку его влияния на средообразующие функции природных биосистем и экосистем;
- приоритетная задача управления природными биосистемами и экосистемами – поддержание и восстановление их средообразующих функций;
- продукционная функция должна смещаться на искусственные биопродукционные системы; использование продукционной функции природных экосистем (промысел рыбы и морепродуктов, добыча древесины) возможно лишь при сохранении их структуры и средообразующих функций.

5. Коррекция целей управления природными биосистемами с учетом их средообразующих функций

Тысячелетиями для человека на первом месте была сугубо утилитарная выгода от использования живой природы – получение биопродукции. Продукционные функции (прежде всего – добыча морепродуктов и древесины) продолжают играть существенную роль в мировой экономике. Однако сегодня человеку необходимо в корне изменить свое отношение к живой природе и осознать, что самой важной является ее средообразующие функции. Этот сдвиг в понимании ценности природы принципиально важен, так как он определяет выбор целей управления в сфере природопользования.

Экологоцентрическая концепция природопользования, основываясь на приоритетной ценности средообразующих функций, требует коррекции целей управления природными биосистемами.

При эксплуатации природных биологических ресурсов возникает противоречие между целями получения максимального устойчивого урожая и поддержания средообразующих функций (Букварева, Алещенко, 2006). Стратегии управления биосистемами для достижения этих целей различны. Как было сказано выше, средообразующие функции наиболее эффективно и устойчиво осуществляются ненарушенными климаксными природными биосистемами, и любые их нарушения ведут к ослаблению природной регуляции среды. То есть целью управления для использования средообразующих функций является минимизация нарушения природы систем. А для использования продукционной функции – напротив, необходимо изъятие биомассы из экосистем, для чего оптимальны ранние и средние стадии сукцессии, имеющие наиболее высокую продуктивность. При эксплуатации отдельных популяций стратегия «максимального устойчивого урожая» направлена на минимизацию биомассы, которая остается в экосистеме (с точки зрения промысловика, «недоиспользование» популяции ведет к «потерям» полезной продукции). Это ведет к сильному сокращению потока энергии, идущего через популяцию и нарушает ее экосистемные функции. Имеется немало примеров нарушения средообразующих функций в результате целенаправленной модификации экосистем для увеличения производства продукции (Millennium..., 2005). Если мы не можем сегодня полностью отказаться от изъятия биопродукции из природных экосистем, то при определении целей управления эта задача должна быть подчинена приоритету сохранения средообразующей функции. Объемы и формы

ресурсной эксплуатации должны ограничиваться требованием сохранения разнообразия и средообразующей функции экосистем, видов и популяций.

Одним из основных путей преодоления противоречия между целями получения полезной для человека продукции и сохранения экосистемных функций сегодня считаются различные технологии ведения сельского и лесного хозяйства, предусматривающие частичное сохранение или имитацию природных процессов (устойчивое лесное хозяйство, «органическое» сельское хозяйство, адаптивное сельское хозяйство и др.)¹³ (Foley et al., 2005). Однако пока нельзя считать доказанным, что стратегия совмещения функций производства продукции и регулирования среды лучше обеспечивает достижение этих целей, чем стратегии разделения этих функций между ненарушенными природными экосистемами и высокотехнологичными замкнутыми производствами. Пока этот вопрос не решен, «экологически дружественные» варианты хозяйства априори могут приветствоваться только на уже освоенных человеком территориях (например, развитие устойчивого лесного хозяйства в старых лесопромышленных регионах), но не могут считаться основанием для хозяйственного освоения ненарушенных природных экосистем.

Новой быстро развивающейся формой преобразования экосистем являются различные «геоинженерные» проекты, направленные прежде всего на борьбу с глобальным потеплением (удобрение океанов и посадки быстрорастущих деревьев в целях поглощения углерода, укрытие ледников отражающими материалами, увеличение альбедо поверхности Земли за счет выращивания определенных растений или вырубки деревьев и кустарников в снежных регионах и другие). Сегодня уже имеются примеры того, как искусственное усиление отдельной функции без учета изменений всего комплекса средообразующих функций привело лишь к дополнительным экологическим проблемам (например, упомянутые выше «углеродные леса»). Масштабная реализация геоинженерных проектов при отсутствии надёжных прогнозов изменения всех средообразующих функций экосистем может повлечь за собой непредсказуемые последствия.

Другим примером возникновения серьезных экологических ошибок являются некоторые биотопливные проекты. В последние годы в мире расширяются плантации для выращивания биотопливных культур. Считается, что биотопливо поможет решить проблему парниковых газов¹⁴ за счет достижения «нулевого углеродного баланса», если при сжигании биотоплива будет выделяться углерод, который был поглощен во время роста растений. Однако создание плантаций биотоплива на месте природных экосистем лишь увеличивает выбросы углерода в атмосферу. Исследования, проведенные в различных природных зонах, показали, что при переводе природных экосистем в плантации в атмосферу выделяются большие количества парниковых газов из почв, торфа и подстилки. Выбросы углекислого газа, в зависимости от типа экосистемы и выращиваемой культуры, могут от 17 до 420 раз превышать его «экономия» от использования выращенного биотоплива. Особенно опасна трансформация заболоченных экосистем. Так, при использовании под плантации болот и заболоченных лесов в Амазонии и Малайзии для возмещения эмиссии углерода выращенным биотопливом потребуются 300-400 лет (Fargione et al., 2008). Этот пример показывает, что действия, направленные на решение климатической задачи без учета возможных изменений средообразующих функций экосистем могут привести к прямо противоположному результату.

В России также рассматриваются проекты создания плантаций биотопливных культур и его производства из древесины и торфа (сайт Российской Национальной Биотопливной Ассоциации: www.bioethanol.ru). Эти проекты требуют всесторонней экспертизы с точки зрения

¹³ К высокотехнологичным индустриальным предприятиям по производству биомассы (животноводческим комплексам, тепличным хозяйствам, биотехнологическим заводам) следует предъявлять такие же экологические требования, как и к остальным производствам - минимизации воздействия на окружающую среду, включая занимаемую площадь, потребление энергии и загрязнение среды, добавив к ним возможное влияние на природную среду новейших технологий (нанотехнологий, биотехнологий, генной инженерии).

¹⁴ Часто более важными факторами в развитии биотопливных проектов является стремление стран обеспечить свою независимость от поставок углеводородов из других стран и резких колебаний цен на мировом нефтяном рынке; а также прямая экономическая выгода, если производство биотоплива обходится дешевле бензина (например, этанол из сахарного тростника в Бразилии).

их воздействия на средообразующие функции экосистем, которые планируется заменить этими плантациями или разрушить торфоразработками. В последнем случае необходимо учесть деградацию водорегулирующей роли торфяных экосистем, дополнительные выбросы углерода в атмосферу при разработке торфяных залежей, которые с большой вероятностью могут превысить «углеродную» цену полученного топлива.

Эти примеры показывают необходимость комплексного учёта всех средообразующих функций при любых изменениях природных экосистем и популяций.

Заключение

Экологическая концепция природопользования предполагает включение экономических оценок изменения средообразующих функций в общую оценку экономического развития предприятия, компании, региона или страны. Экстенсивное экономическое развитие сопровождается уничтожением и нарушением природных экосистем - в большей или меньшей степени, в зависимости от того, носит оно сырьевой или высокотехнологичный характер. Экономическое развитие без нарушения экосистем возможно за счет повышения технологического уровня производств (в частности, при переходе от сырьевого типа к высокотехнологичному).

Рассмотрим формирование интегрального показателя в случае экстенсивного развития изолированной системы. По мере увеличения степени нарушения природных экосистем ущерб от деградации их средообразующих функций растет монотонно и нелинейно (в соответствии с данными экспериментов, рис.9). Выгода от замещения природных систем антропогенными растет линейно (при постоянном технологическом уровне) или экспоненциально, но вначале, очевидно, превышает ущерб от разрушения природы. Однако в конце концов неизбежно наступает момент, когда ущерб от разрушения природы перекрывает все прибыли, которые могут быть получены за счет ее разрушения. В этой точке интегральный показатель переходит в область отрицательных значений.

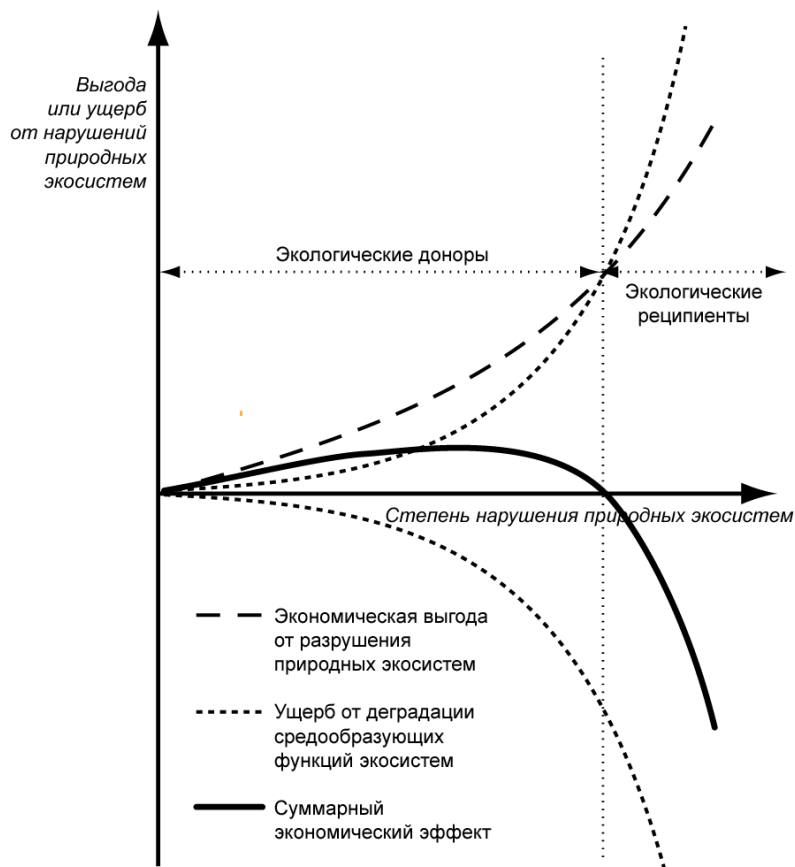


Рис.9. Изменение соотношения величин выгоды и ущерба по мере увеличения нарушений природных экосистем.

Для изолированной системы переход интегрального показателя в отрицательную зону означает ее деградацию и гибель. Но в современном мире страны и регионы не изолированы, а связаны в систему, которая состоит из экологических доноров и экологических реципиентов. Донорами можно считать тех, кто находится в зоне положительных значений интегрального показателя, реципиентами – тех, у которых ущерб от деградации природной среды превышает прибыли, получаемые от экономического развития, связанного с ее разрушением. Экологические реципиенты существуют за счет того, что средообразующие функции экосистем экологических доноров в значительной степени компенсируют ущерб, нанесенный экосистемами на территории реципиентов.

Очевидно, что глобальный баланс определяется соотношением между величинами экологического ущерба на территориях-реципиентах и мощностью экосистемных функций, сохраняющихся на территориях-донорах. При этом мы должны помнить, что биосфера в целом - изолированная в экологическом смысле система, и никаких внешних экологических доноров у нее нет!

ЛИТЕРАТУРА

- Берг Л.С. Климат и жизнь. М.: Госиздат, 1922.
- Букварева Е.Н., Алещенко Г.М. 2005. Принцип оптимального разнообразия биосистем // Успехи современной биологии. Т. 125. Вып.4. С.337-348.
- Букварёва Е.Н., Алещенко Г.М. 2006. Принцип оптимального разнообразия биосистем и стратегия управления биоресурсами // Государственное управление в XXI веке: традиции и инновации. М.: ФГУ МГУ, РОССПЭН. С. 204–210.
- Букварева Е.Н., Алещенко Г.М. 2010. Механизмы оптимизации разнообразия в ходе формирования и эволюции надорганизменных биосистем // Эволюция. Проблемы и дискуссии. Под ред. Л.Е. Гринина, А.В. Маркова, А.В. Коротаева. М.: Изд-во ЛКИ. с. 17-59
- Горшков В.Г., Макарьева А.М. 2006. Биотический насос атмосферной влаги, его связь с глобальной атмосферной циркуляцией и значение для круговорота воды на суше. Гатчина: Петербургский институт ядерной физики РАН. Препринт. 49 с.
- Ежегодник ГЭП (Глобальная экологическая перспектива). 2006. Обзор изменений состояния окружающей среды. Программа ООН по окружающей среде (UNEP). 83 с.
- Живая планета – 2008. М.: Всемирный фонд дикой природы, 2008.
- Заварзин Г.А., Кудеяров В.Н. 2006. Почва как главный источник углекислоты и резервуар органического углерода на территории России // Вестник РАН. Т. 76. № 1. С.14–29.
- Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И., Коровин Г.Н., Честных О.В. 2005. Динамика пулов и потоков углерода на территории лесного фонда России // Экология. № 5. С. 323-333.
- МГЭИК, 2007: Изменение климата, 2007 г. Обобщающий доклад. Вклад рабочих групп I, II и III в Четвертый доклад МГЭИК. Пачаури Р.К., Райзингер А. и основная группа авторов. МГЭИК, Женева, Швейцария, 104 с.
- Павлов Д.С., Савваитова К.А., Кузицин К.В. и др. 2001. Тихоокеанские благородные лососи и форели Азии. М: Научный мир. 200 с.
- Павлов Д.С., Букварева Е.Н. 2007. Биоразнообразие, экосистемные функции и жизнеобеспечение человечества // Вестник РАН. Т.77. № 11. С. 974-986.
- Павлов Д.С., Стриганова Б.Р., Букварева Е.Н., Дгебуадзе Ю.Ю. 2009. Сохранение биологического разнообразия как условие устойчивого развития. М.: Институт устойчивого развития. Центр экологической политики России. 84 с.
- Павлов Д.С., Стриганова Б.Р., Букварева Е.Н. 2010. Экологоцентрическая концепция природопользования // Вестник РАН. Т.80. № 2. С.131-140.
- Четвёртое национальное сообщение Российской Федерации, представляемое в соответствии со статьями 4 и 12 Рамочной конвенции ООН об изменении климата и статьей 7 Киотского протокола. М.: Росгидромет, 2006.
- Baldocchi D. 2008. “Breathing” of the terrestrial biosphere: lessons learned from a global network of carbon dioxide flux measurement systems // Australian Journal of Botany. V. 56. P. 1–26.
- Betts R.A. 1999. Self-beneficial effects of vegetation on climate in an Ocean–Atmosphere General

- Circulation Model // *Geophysical Research Letters*. V.26(10). P.1457–1460.
- Calder I., Hofer T., Vermont S., Warren P. 2007. Towards a new understanding of forests and water // *Unasylva*. V. 58. № 229. P.3–10.
- Canadell J.P., Pataki D.E., Gifford R. et al. 2007. Saturation of the terrestrial carbon sink // *Terrestrial Ecosystems in a Changing World*. Global Change - The IGBP Series. / Eds.: Canadell J.G. et al. Springer. P.59–78.
- Costanza R., Pérez-Maqueo O., Martinez M.L. et al. 2008. The value of coastal wetlands for hurricane protection // *Ambio*. V.37, N4, pp. 241–248
- Crutzen P.J., Stoermer E.F. 2000. The "Anthropocene" // *IGBP Newsletter*. № 41.
- Da Silva R.R., Werth D., Avissar R. 2008. Regional impacts of future land-cover changes on the Amazon basin wet-season climate // *Journal of Climate*. V. 21. № 6. P. 1153–1170.
- Eltahir E.A.B., Bras R.L. 1994. Precipitation recycling in the Amazon basin // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. V. 120, N 518, P. 861 - 880
- Fargione J., Hill J., Tilman D. et al. 2008. Land clearing and the biofuel carbon debt // *Science*. V. 319. P. 1235–1238.
- Foley J.A., DeFries R., Asner G.P. et al. 2005. Global consequences of land use // *Science*. V. 309. P. 570–574.
- Foley J.A., Asner G.P., Costa M.H. et al. 2007. Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon basin // *Frontiers in Ecology and the Environment*. V. 5. № 1. P. 25–32.
- Global Forest Resources Assessment 2005. Progress towards sustainable forest management. Rome: FAO. 2006. 320 p.
- Hector A., Joshi J., Lawler S. P. et al. 2001. Conservation implications of the link between biodiversity and ecosystem functioning // *Oecologia*. 2001. V.129. P.624–628.
- Jackson R.B., Jobbagy E.G., Avissar R. et al. 2005. Trading water for carbon with biological carbon sequestration // *Science*. V. 310. P.1944–1947.
- Jackson R.B, Farley K.A, Hoffmann W.A. et al. 2007. Carbon and water tradeoffs in conversions to forests and shrublands // *Terrestrial ecosystems in a changing world*. Eds: Canadell J.G. et al. Springer. P. 237–246.
- Luck G., Daily G., Ehrlich P. 2003. Population diversity and ecosystem services // *Trends in Ecology and Evolution*. V. 18. № 7. P. 331-336.
- Kurz W.A., Stinson G., Rampley G.J. et al. 2008. Risk of natural disturbances makes future contribution of Canada's forests to the global carbon cycle highly uncertain // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. V.105. P.1551–1555.
- Miles L., Kapos V. 2008. Reducing Greenhouse Gas Emissions from Deforestation and Forest Degradation: Global Land-Use Implications // *Science*. V.320. P. 1454-1455.
- Millennium ecosystem assessment. Ecosystems and human wellbeing: synthesis. Washington: Island Press, 2005.
- Nepstad D. C., Stickler C. M., Soares-Filho B., Merry F. 2008. Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point // *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, V. 363, No. 1498, pp. 1737-1746.
- Payments for ecosystem services getting started: a primer. 2008. *Forest Trends*, The Katoomba Group, UNEP. 74 p.
- Phillips O.L., Aragao L., Lewis S.L. et al. 2009. Drought sensitivity of the Amazon rainforest // *Science*. V. 323. P. 1344–1347.
- Postel S., Thompson B.H. 2005. Watershed protection: capturing the benefits of nature's water supply services // *Natural Resources Forum*. V. 29. P. 98–108.
- Postel S. 2008. The forgotten infrastructure: safeguarding freshwater ecosystems // *Journal of International Affairs*. V. 61. № 2. P.75–90.
- Ranganathan J. et al. 2008. Ecosystem services. A Guide for Decision Makers. World Resource Institute. 80 p
- Schwartz M.W., Brigham C.A., Hoeksema J.D. et al. 2000. Linking biodiversity to ecosystem function: implications for conservation biology // *Oecologia*. N.122. P. 297-305.
- Szeto K.K., Liu J., Wong A. 2008. Precipitation recycling in the Mackenzie and three other major river

basins // Cold region atmospheric and hydrologic studies. The Mackenzie GEWEX experience. Volume 1: Atmospheric dynamics Ed.: Ming-ko Woo, Springer Berlin Heidelberg. P. 137-154.

Valuing ecosystem services. Toward better environmental decision-making. Report in brief. 2004. Committee on Assessing and Valuing the Services of Aquatic and Related Terrestrial Ecosystems, National Research Council, National Academy of Sciences of USA.

Yu-shi M., Datong N., Guang X. et al. 1997. An assessment of the economic losses resulting from various forms of environmental degradation in china. Cambridge: American Academy of Arts and Sciences and the University of Toronto. (<http://www.library.utoronto.ca/pcs/state/china.htm>).