

ИСТОРИЯ НАУКИ

Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии.
2011. – Т. 20, № 1. – С. 185-204.

СТОИМОСТЬ МИРОВЫХ ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ И ПРИРОДНОГО КАПИТАЛА¹

**Robert Costanza^A, Ralph d'Arge, Rudolf de Groot, Stephen Farber, Monica Grasso,
Bruce Hannon, Karin Limburg, Shahid Naeem, Robert V. O'Neill, Jose Paruelo,
Robert G. Raskin, Paul Sutton, Marjan Van Den Belt^B**

Экосистемные услуги и запасы природного капитала чрезвычайно важны для системы жизнеобеспечения Земли. Они вносят вклад, прямо и косвенно, в благосостояние человечества, тем самым, являясь частью всей экономической ценности нашей планеты. Основываясь на опубликованных материалах и ряде собственных исследований, нами была подсчитана текущая экономическая стоимость 17 экосистемных услуг для 16 биомов. Для всей биосферы стоимость (большая часть которой за пределами рынка) оценивается в диапазоне от 16-54 триллионов долларов США в год (10^{12}), а в среднем составляет 33 триллиона долларов США в год. Из-за неоднозначности оценок предлагаем считать эту сумму минимальной. Глобальный ВВП равен приблизительно 18 триллионам долларов США в год.

Так как экосистемные услуги не полностью «охвачены» на коммерческом рынке или адекватно описаны терминами, соотносимыми с экономическими услугами и производственным капиталом, они имеют небольшой вес при принятии стратегических решений. Подобное пренебрежение может полностью подорвать устойчивость человечества в биосфере. Мировые экономики могут ослабнуть и полностью исчезнуть без экоуслуг системы жизнеобеспечения, так что в определенном смысле их общая ценность безмерна. Однако может быть, полезно оценить «приростную» или «предельную» стоимость экосистемных услуг (расчетный уровень изменений стоимости в сравнении с изменениями в экосистемных услугах от их текущих уровней). За последние десятилетия было опубликовано множество трудов, направленных на оценку стоимости широкого спектра экосистемных услуг. В настоящей статье мы собрали этот большой, но разрозненный материал и представили его в форме полезной для экологов, экономистов, высокопоставленных политиков и широкой общественности. Из всего многообразия мы рассчитали стоимость экосистемных услуг для единицы площади биома, а затем умножили на общую площадь и сложили все услуги и биомы.

¹ **Costanza R. et al.** The value of the world's ecosystem services and natural capital // Nature. – 1997. – V. 387. – P. 253-260. (Перевод с англ. А.Г. Розенберг).

Хотя мы и допускаем, существование большого количества концептуальных и эмпирических проблем, присущих подобного рода расчетам, все же считаем, что они необходимы для того, чтобы: (1) сделать диапазон потенциальных ценностей экосистемных услуг более очевидным; (2) хотя бы приблизительно установить относительную величину глобальных экосистемных услуг; (3) создать методику для их дальнейшего анализа; (4) выделить области, требующие дополнительного изучения; а также (5) способствовать проведению дополнительных исследований. Большинство проблем, с которыми мы столкнулись, указывают на то, что результаты наших расчетов минимальны и вероятно увеличатся при условии: (1) дополнительного изучения и оценке более широкого спектра экосистемных услуг; (2) объединения более реалистических представлений динамики экосистемы и взаимозависимости; а также (3), становления экосистемных услуг недостаточными и «редкими» в будущем.

Экосистемные функции и услуги

Функции экосистемы по-разному относят к среде обитания, биологическим или системным свойствам или процессам экосистем. Товары экосистемы (такие как пища) и услуги (такие как ассимиляция отходов) представляют ту пользу, которую человечество, прямо или косвенно, извлекает из функций экосистемы. Для простоты объединим товары и услуги экосистемы в услуги экосистемы. Можно определить большое количество функций и услуг¹⁻⁴. По ссылке⁵ можно найти недавний, детальный труд по описанию, измерению и оценке экосистемных услуг. В целях данного анализа мы разделили услуги экосистемы на 17 основных категорий, приведенных в табл. 1.

Мы включили только возобновляемые экосистемные услуги, исключая невозобновляемые топливные ресурсы, минералы и атмосферу. Заметьте, что экосистемные услуги и функции не обязательно представляют взаимно однозначное соответствие. В некоторых случаях одна услуга – это продукт двух или более функций экосистемы, тогда как в других случаях одна функция экосистемы способствует двум или более услугам. Также важно подчеркнуть взаимозависимую природу многих функций экосистемы.

Таблица 1

Экосистемные услуги и функции

№	Услуги экосистем*	Функции экосистем	Примеры
1	2	3	4
1	Регулирование газа	Регулирование химического состава атмосферы.	Баланс CO ₂ /O ₂ , O ₃ для защиты от ультрафиолетового излучения и уровня SO _x
2	Регулирование климата	Регулирование уровня мировой температуры, осадков и других биологически опосредованных климатических процессов на глобальном и местных уровнях.	Регулирование парниковых газов, выработка диметилсульфида, влияющих на формирование облаков.

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
3	Регулирование нарушений	Емкость, демпфирование и целостность реакции экосистемы на изменения окружающей среды.	Защита от ураганов, борьба с наводнениями, последствиями засухи и другие аспекты реакции среды обитания на изменения окружающей среды, в основном регулируемые структурой растительности.
4	Регулирование воды	Регулирование гидрологических потоков.	Снабжение водой сельского хозяйства (ирригация), промышленности (например, фрезеровка) или [водных] перевозок.
5	Водоснабжение	Аккумуляция и удержание воды.	Снабжение водой из водоразделов, водохранилищ и водоносных пластов.
6	Борьба с эрозией и удержание осадков	Удержание почвы в пределах экосистемы.	Предотвращение потерь почвы из-за ветра, стоков и др.; сохранение ходулочников (<i>Himantopus</i>) в озерах и на заболоченных территориях.
7	Почвообразование	Процессы почвообразования.	Разрушение скал и накопление органического материала.
8	Циркуляция питательных веществ	Хранение, внутренняя циркуляция и получение питательных веществ.	Фиксация азота, циркуляция N, P и других элементов и питательных веществ.
9	Переработка отходов / водоочистка	Восстановление перемещающихся питательных веществ и удаление избыточных или ксенических питательных веществ и соединений.	Переработка отходов, борьба с загрязнением окружающей среды, детоксификация.
10	Опыление	Движение растительных гамет.	Обеспечение наличия опылителей для воспроизведения растительных популяций.
11	Биологическое регулирование	Трофическое-динамическое регулирование популяций.	Взаимоотношения типа «хищник-жертва», сокращение травоядных за счет крупных хищников.
12	Рефугиумы	Среда обитания для постоянных и мигрирующих популяций.	Питомники, среда обитания для мигрирующих видов, остающихся на зимовку и для постоянно живущих

Окончание таблицы 1

1	2	3	4
			щих на данной территории популяций.
13	Производство продуктов питания	Часть валовой первичной продукции, а именно пища.	Добыча рыбы, дичи, производство зерновых культур, орехов, фруктов путем охоты, рыбалки, сбора урожая, ведения натурального хозяйства.
14	Сырье	Часть валовой первичной продукции, а именно сырье.	Производство пиломатериалов, топлива или корма для скота.
15	Генетические ресурсы	Источники уникальных биологических материалов и продуктов.	Лекарства, продукты для материаловедения, гены с высокой степенью сопротивления растительным патогенам, декоративные виды (домашние животные и садовые растения).
16	Отдых	Возможность проведения различных рекреационных мероприятий.	Эко-туризм, спортивная рыбалка и другие рекреационные виды деятельности на природе.
17	Культурная деятельность	Возможность проведения различных некоммерческих мероприятий	Эстетические, художественные, образовательные, духовные, и/или научные ценности экосистем.

* Наряду с экосистемными услугами мы включили экосистемные «товары».

Например, конечным результатом некоторой части чистой первичной продукции в экосистеме является пища, потребление которой ведет к затратам на дыхание, необходимым для производства первичной продукции. Даже притом, что эти функции и услуги являются взаимозависимыми, во многих случаях они могут быть добавлены, потому что представляют «объединенные продукты» экосистемы, поддерживающие благополучие человечества. До возможной степени мы попытались вычленить объединенные и «добавленные» продукты, как если бы они были добавлены, от продуктов, представляющих «двойной подсчет» (так они представляют различные аспекты одной и той же услуги). Также важно признать, что необходим минимальный уровень «инфраструктуры» экосистемы с тем, чтобы обеспечить производство услуг, указанных в табл. 1. Несколько авторов подчеркнули важность этой «инфраструктуры» для общей стоимости^{6, 7}. Этот компонент стоимости не включен в настоящий анализ.

Природный капитал и экосистемные услуги

В общем, под «капиталом» понимают запас материалов или информации, имеющихся в определенный момент времени. Каждая часть основного капитала^с

формируется, автономно или совместно с услугами, из других капиталов, потока услуг, которые могут быть использованы для того, чтобы преобразовать материалы, или пространственной конфигурации материалов для того, чтобы увеличить благосостояние людей. Использование данного потока услуг человеком может и не затронуть первоначальный основной капитал.

Основной капитал принимает различные идентифицируемые формы, в особенности физические, включая природный капитал, а именно деревья, полезные ископаемые, экосистемы, атмосфера и так далее; произведенный капитал, такой как машины и здания и человеческий капитал. Кроме того, основной капитал может принять нематериальные формы, например, информация, хранимая в памяти как компьютеров, так и людей, а также биологических видах и экосистемах.

Экосистемные услуги состоят из потока материалов, энергии, и информации из природных капиталов, которые объединяются с услугами произведенного и человеческого капитала для улучшения человеческого благосостояния. Хотя улучшение человеческого благосостояния и возможно представить без природного капитала и экосистемных услуг в искусственных «космических поселениях», это слишком маловероятно для текущего состояния дел. Фактически, еще одной задачей определения стоимости экосистемных услуг является определение затрат на их воспроизводство в технологически созданной, искусственной биосфере.

Опыт с пилотируемыми космическими полетами и Биосферой II в Аризоне^D указывает на то, что это чрезвычайно сложная и дорогая задача. Биосфера I (планета Земля) является очень эффективным, дешевым поставщиком услуг человеческого жизнеобеспечения.

Таким образом, мы можем рассматривать универсальный природный капитал как жизненно необходимый для человеческого благосостояния. Отсутствие природного капитала подразумевает отсутствие человеческого благосостояния, так как невозможно полностью заменить «неприродный капитал» на природный. Для создания произведенного и человеческого капитала необходим природный капитал⁷. Поэтому, не так важно знать соотношение общей стоимости природного капитала к человеческому благосостоянию, а также, значимость определенных форм природного капитала. Банально задаваться вопросом о значимости атмосферы для всего человечества или значимости скал и почвы, – ведь она огромна.

Однако важно знать, как изменения количества или качества различных типов природного капитала и экосистемных услуг влияют на человеческое благосостояние. Такие изменения включают как мелкие изменения в большом масштабе, так и большие изменения в мелких масштабах. Например, небольшое изменение газообразного состава планетарной атмосферы может повлечь за собой масштабное изменение климата, затрагивающие жизнеспособность и благосостояние всего населения планеты. Большие изменения в мелких масштабах включают, например, значительные изменения состава местных лесов, а также земных и водных экосистем, влияя на прибыль и убытки человека на локальном уровне. В целом, изменения определенных форм природного капитала и экосистемных услуг влияют на изменение всего человеческого благосостояния.

Оценка стоимости экосистемных услуг

Проблема оценки стоимости неотделима от тех выборов и решений, которые нам предстоят касательно экологических систем^{6,8}. Некоторые утверждают, что оценка стоимости экосистем или невозможна или неблагоприятна, и что мы не можем просчитать стоимость таких «нематериальных активов» как человеческая жизнь, красота природы или долгосрочные экологические выгоды. Но, фактически, мы делаем это каждый день: когда устанавливаем стандарты на конструкцию дорог, мостов и т. п., мы оцениваем стоимость человеческой жизни (сознательно или нет), так как, потратив больше денег на строительство, возможно, мы бы спасли больше жизней. Другой частый аргумент заключается в том, что мы должны защитить экосистемы в эстетических или нравственных целях^Е, а для этого в оценке стоимости нет никакой необходимости.

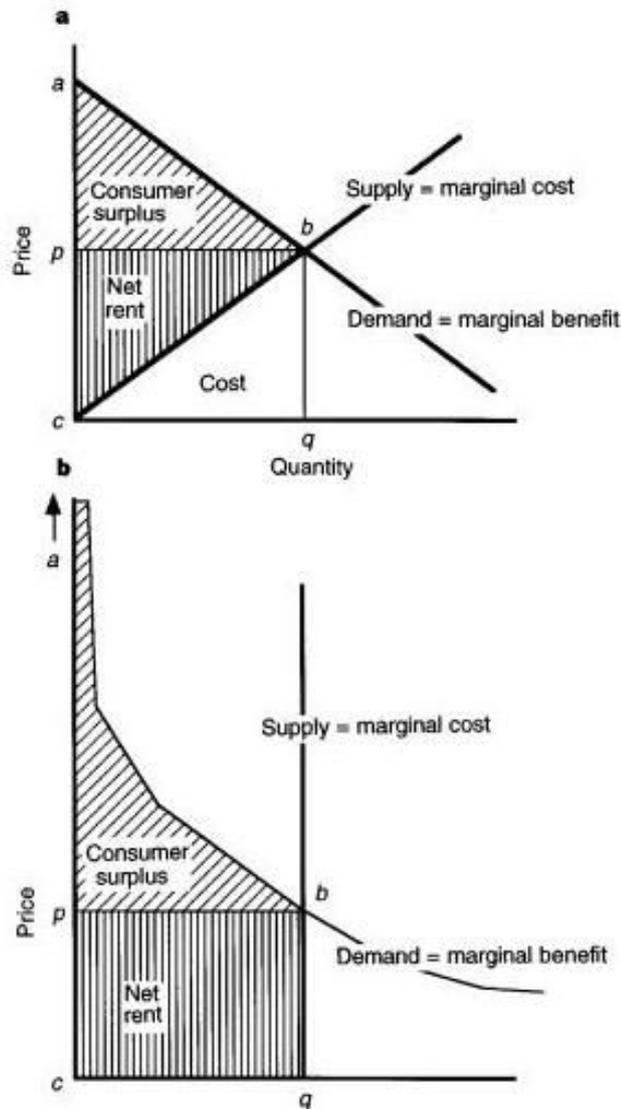


Рис. 1. Кривые спроса и предложения обозначают стоимость, нетто-аренду и потребительский излишек для нормальных благ (а) и ряда основных экосистемных услуг (b). В тексте приведены подробные комментарии

Таблица 2

Сводка данных по средней глобальной стоимости ежегодных экосистемных услуг

Биом	Площадь (10 ⁶ га)	Экосистемные услуги (1994 US\$ га ⁻¹ год ⁻¹)																	Общая стоимость/га (га ⁻¹ год ⁻¹)	Глобальная стоимость (га ⁻¹ год ⁻¹)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
Водный	36,302																		577	20,949
Открытый океан	33,200	38						118			5		15	0			76	252	8,381	
Прибрежные экосистемы	3,102			88				3,677			38	8	93	4		82	62	4,052	12,568	
устья	180			567				21,11			78	131	521	25		381	29	22,832	4,110	
водные травы / слой макроводорослей	200							19,00						2				19,004	3,801	
коралловые рифы	62			2,750					58		5	7	220	27		3,008	1	6,075	375	
шельфы	2,660							1,431			39		68	2			70	1,610	4,283	
Наземный	15,323																	804	12,319	

Продолжение таблицы 2

Биом	Площадь (10 ⁶ га)	Экосистемные услуги (1994 US\$ га ⁻¹ год ⁻¹)																	Общая стоимость/га (га ⁻¹ год ⁻¹)	Глобальная стоимость (га ⁻¹ год ⁻¹)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
Лес	4,855		141	2	2	3	96	10	361	87		2		43	138	16	66	2	969	4,706
тропический	1,900		223	5	6	8	245	10	922	87				32	315	41	112	2	2,007	3,813
леса умеренного климата / тайга	2,955		88		0			10		87		4		50	25		36	2	302	894
Лугопастбищные угодья	3,898	7	0		3		29	1		87	25	23				0	2		232	906
Заболоченные территории	330	133		4,539	15	3,800				4,117			304	256	106		574	881	14,785	4,879
мангровые болота	165			1,839						6,696			169	466	162		658		9,990	1,648
поймы	165	265		7,240	30	7,600				1,659			439	47	49		491	1,761	19,580	3,231
Озера / реки	200				5,445	2,117				665				41			230		8,498	1,700
Пустыня	1,925																			

Окончание таблицы 2

Биом	Площадь (10 ⁶ га)	Экосистемные услуги (1994 US\$ га ⁻¹ год ⁻¹)																	Общая стоимость/га (га ⁻¹ год ⁻¹)	Глобальная стоимость (га ⁻¹ год ⁻¹)		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17				
Тундра	743																					
Ледники / скалы,	1,640																					
Пахотные угодья	1,400										14	24		54							92	128
Населенные территории	332																					
Всего	51,625	1,34	684	1,78	1,12	1,69	576	53	17,08	2,28	117	417	124	1,39	721	79	815	3,02				33,268

Данные в середине таблице представлены в долларах га⁻¹ год⁻¹, данные в столбце «Площадь» и строке «Всего» представлены в долларах × 10⁶га. Итоговые данные являются суммой произведений площади каждого биома и каждого гектара услуг, а не самих услуг. Затемненные ячейки отображают услуги, которые не оказываются или которыми можно пренебречь. Пустые клетки указывают на отсутствие необходимой информации.

Экосистемные услуги: 1. Регулирование газа; 2. Регулирование климата; 3. Регулирование нарушений; 4. Регулирование воды; 5. Водоснабжение; 6. Борьба с эрозией; 7. Почвообразование; 8. Круговорот питательных веществ; 9. Переработка отходов/водоочистка; 10. Опыление; 11. Биологическое регулирование; 12. Рефугиумы; 13. Производство продуктов питания; 14. Сырье; 15. Генетические ресурсы; 16. Отдых; 17. Культурная деятельность.

Но существуют одинаково неотразимые моральные аргументы, которые могут находиться в прямом конфликте: моральный аргумент о необходимости защиты экосистем и моральный аргумент в пользу того, что никто не должен голодать. Моральные аргументы переводят проблему оценки стоимости и принятия решения в совершенно иное измерение и иную терминологию, что нам представляется, делает проблему оценки и принятия решения более трудной и менее очевидной. Тем не менее, моральные и экономические аргументы, конечно, не являются взаимно исключаемыми. Оба они могут и должны развиваться параллельно.

Итак, несмотря на то, что оценка стоимости экосистемы трудна, у нас есть только один правильный выбор – сделать её^F. В значительной степени те решения, касающиеся экосистем, которые мы принимаем как общество, уже подразумевают некоторую оценку (не обязательно выраженную денежном эквиваленте). Мы можем сделать эти оценки явными или нет, зная или не зная о всех нюансах; но пока мы вынуждены делать выбор, мы находимся в процессе оценки.

Оценка стоимости услуг природного капитала «на границе» состоит в определении влияния на человеческое благосостояние, в связи с относительно небольшими изменениями в данных услугах. Изменения качества или количества экосистемных услуг имеют ценность, если меняется выгода, связанная с деятельностью человека, или затраты на данную деятельность. Подобные изменения выгоды и затрат влияют на благосостояние человека через рыночную и нерыночную деятельность.

Например, коралловые рифы предоставляют среду обитания рыбе. Один аспект их ценности заключается в увеличении концентрации рыбных ресурсов. Изменения качества или количества заметно отразятся на коммерческом рыбном промысле и туристической рыбалке. Однако другие аспекты ценности коралловых рифов, такие как рекреационный дайвинг и сохранение биоразнообразия, не полностью отражены в условиях рынка. Леса обеспечивают нас древесиной посредством хорошо организованных коммерческих рынков, но сопутствующие ценности среды обитания лесов также видны в нерыночной рекреационной деятельности. Цепочки влияния экосистемных услуг на человеческое благосостояние могут варьироваться от чрезвычайно простых до чрезвычайно сложных. Леса обеспечивают древесину, но также содержат почвы и влажность, и создают микроклиматы, комплексно влияющие на благосостояние человека, как правило, нерыночным путем.

Методы оценки

Применяются различные методы оценки рыночных и нерыночных компонентов стоимости экосистемных услуг. В настоящей статье мы объединили предыдущие исследования, основанные на множестве различных методов, отмечая недостатки и предположения, лежащие в основе каждого из них.

Многие из используемых в исследованиях методов оценки основаны, прямо или косвенно, на стремлении оценить «готовность людей платить» за экосистемные услуги. Например, если бы экологические услуги обеспечили увеличение выработки древесины эквивалентное \$50, то выгодополучатель мог бы заплатить за подобную услугу до \$50. В дополнение к производству древесины, если использование леса представляет нерыночную эстетическую, консервационную ценность

эквивалентную \$70, то выгодополучатель мог бы заплатить за подобную услугу до \$70. Общая стоимость экологических услуг составила бы \$120, но вклад экологических услуг в денежную экономику составил бы \$50, т. е. ту сумму, которая фактически проходит через рынки. В настоящем исследовании мы попытались оценить общую стоимость экологических услуг, независимо от того, продаются они в настоящее время или нет.

Данные понятия схематически изображены на рис. 1: кривые условного предложения (предельные затраты) и спроса (предельная выгода) для типичных продаваемых благ или услуг. Ценность, выявляемая в валовом национальном продукте (ВНП), является рыночной ценой p умноженной на количество q , или область $pbqc$. Однако на рисунке представлены три другие значительные области. Стоимость производства – область, расположенная под кривой предложения, cbq . Область pbc – «излишек производителя» или «нетто-аренда» расположена между рыночной ценой и кривой предложения. «Потребительский излишек» или количество блага, которое потребитель получает свыше цены, заплаченной на рынке, является областью между кривой спроса и рыночной ценой, abp . Совокупная экономическая ценность – сумма излишка производителя и потребителя (исключая стоимость производства), или область abc на рисунке. Заметьте, что совокупная экономическая ценность может быть больше или меньше чем ценность, выявляемая в ВНП (рыночная цена p умноженная на количество q).

Рис. 1а описывает рукотворные заменяемые блага. Многие экосистемные услуги являются заменяемыми только до определенной степени. Их кривые спроса вероятно больше подходят для рис. 1b, где спрос приближается к бесконечности, в то время как имеющееся количество приближается к нулю (или к некоторому минимально необходимому уровню услуг), а потребительский излишек (как и совокупная экономическая ценность) приближается к бесконечности. На практике чрезвычайно трудно оценить кривые спроса для экосистемных услуг. Кроме того, в рамках того, что экосистемные услуги не могут быть уменьшены или увеличены под воздействием экономического строя, их кривые предложения почти вертикальны, как показано рис. 1b.

В настоящем исследовании мы оценили стоимость единицы площади каждой экосистемной услуги для каждого типа экосистемы. Для того чтобы оценить «стоимость единицы продукта», мы использовали (в порядке предпочтения): (1) сумму излишка потребителя и производителя; или (2) нетто-аренду плату (или излишек производителя); или (3) произведение цены на количество в качестве «замены» экономической стоимости услуги, предполагая, что кривая спроса на экосистемные услуги скорее похожа на рис. 1b, на чем 1a, и что поэтому область $pbqc$ является консервативной недооценкой области abc . Мы умножили стоимости единицы продукта на площадь поверхности каждой экосистемы для получения конечного результата.

Стоимость экосистемы, рынки и ВНП

Как мы уже отметили, стоимость многих типов природного капитала и экосистемных услуг нелегко, а в некоторых случаях невозможно, отследить через хорошо функционирующие рынки. Например, усовершенствование леса в эстетиче-

ском плане может сказаться на рекреационных расходах на определенном участке, но это изменение в расходах необязательно связано непосредственно со стоимостью усовершенствования. Отдыхающие могут оценить усовершенствование в \$100, но заплатить за него только \$20 от общей суммы затрат на другие зоны отдыха. Повышение качества заболоченных территорий ^G может улучшить процесс водоочистки, экономя на потенциальных затратах. Например, третичная обработка заболоченных территорий может сэкономить \$100 при альтернативном процессе водоочистки. Существующая обработка может стоить лишь \$30. Снижение издержек на данный процесс не отслеживается ни на одном из рынков. Во многих случаях существует небольшая зависимость между стоимостью услуг и наблюдаемым характером текущих расходов.

Также нет обязательной зависимости между стоимостью услуг природного капитала, даже на марже ^H, и совокупными расходами или ВВП в экономике. Это верно, даже если бы все услуги капитала оказали влияние на хорошо функционирующие рынки. Большая часть вклада экосистемных услуг в человеческое благосостояние имеет исключительно природу общественных благ. Они накапливаются непосредственно у людей, минуя денежную экономику. Во многих случаях люди даже не думают о них. Например, чистый воздух и вода, почвообразование, регулирование климата, переработка отходов, эстетические ценности и хорошее здоровье.

Глобальное землепользование и поверхность земли

Нам необходима оценка всего глобального объема экосистем, для того чтобы оценить общую стоимость экосистемных услуг. Мы разработали объединенную схему классификации с 16 основными категориями (табл. 2) для того, чтобы отразить текущее глобальное землепользование. Главным является разделение на водные и наземные системы. Водные далее подразделяются на системы открытого океана и прибрежные, которые непосредственно включают устья, водные травы/слой макроводорослей, коралловые рифы и шельфы. Наземные системы разделены на два типа леса (тропический и леса умеренных климатических зон/тайга), лугопастбищные угодья, заболоченные территории, озера/реки, пустыню, тундру, ледники/скалы, пахотные угодья и населенные территории. Исходные данные были взяты из источников по ссылке ¹⁷, обобщены по ссылке ⁴, *Дополнительная Информация* была нами взята из источников ¹⁸⁻²². Мы также использовали данные из источника ²³ для перепроверки подсчетов по наземным системам и данные из источников ^{24, 25} для перепроверки подсчетов по водным системам. Мы повторно распределили 32 типа поверхности земли (данные взяты из источника ¹⁷) для табл. 2 и рис. 2. Главным образом, мы предположили следующее: (1) чапараль и степь являются лугопастбищами; (2) различные типы тропического леса и лесных массивов были объединены в «тропический лес».

Обобщение

Мы провели тщательный литературный обзор и обобщили информацию, наряду с некоторыми собственными расчетами во время недельного интенсивного

семинара в новом Национальном центре экологического анализа и синтеза (NCEAS) в Калифорнийском университете в Санта-Барбаре. В *Дополнительной Информации* перечислены первоначальные результаты для каждой экосистемной услуги и биома. *Дополнительная Информация* включает все расчеты, которые мы смогли почерпнуть из литературы (более 100 исследований), их методы оценки, местоположение и объявленную стоимость. Мы сделали перерасчет стоимости по курсу доллара США на $1994 \text{ га}^{-1} \text{ год}^{-1}$, используя индекс потребительских цен США и ряд других необходимых коэффициентов конверсии. Они перечислены в примечаниях к *Дополнительной Информации*. Для некоторых расчетов мы также преобразовали стоимость услуг в доллары США, используя коэффициент покупательной способности ВВП на душу населения страны (для США). Это было сделано для корректировки данных по доходам. Где было возможно, расчеты представлены в виде диапазона, основанного на максимальных и минимальных значениях, взятых из литературы, и среднем значении, с аннотируемыми комментариями относительно методов и допущений. Мы также включили в *Дополнительную Информацию* некоторые расчетные данные из источников по «общей стоимости экосистемы», главным образом используя методы анализ энергии¹⁰. Мы не включили эти данные в конечные и средние значения, приведенные ниже, а лишь использовали их для сравнения с результатами других методов. Интересно, что, применив различные методы, нами были получены близкие друг к другу результаты.

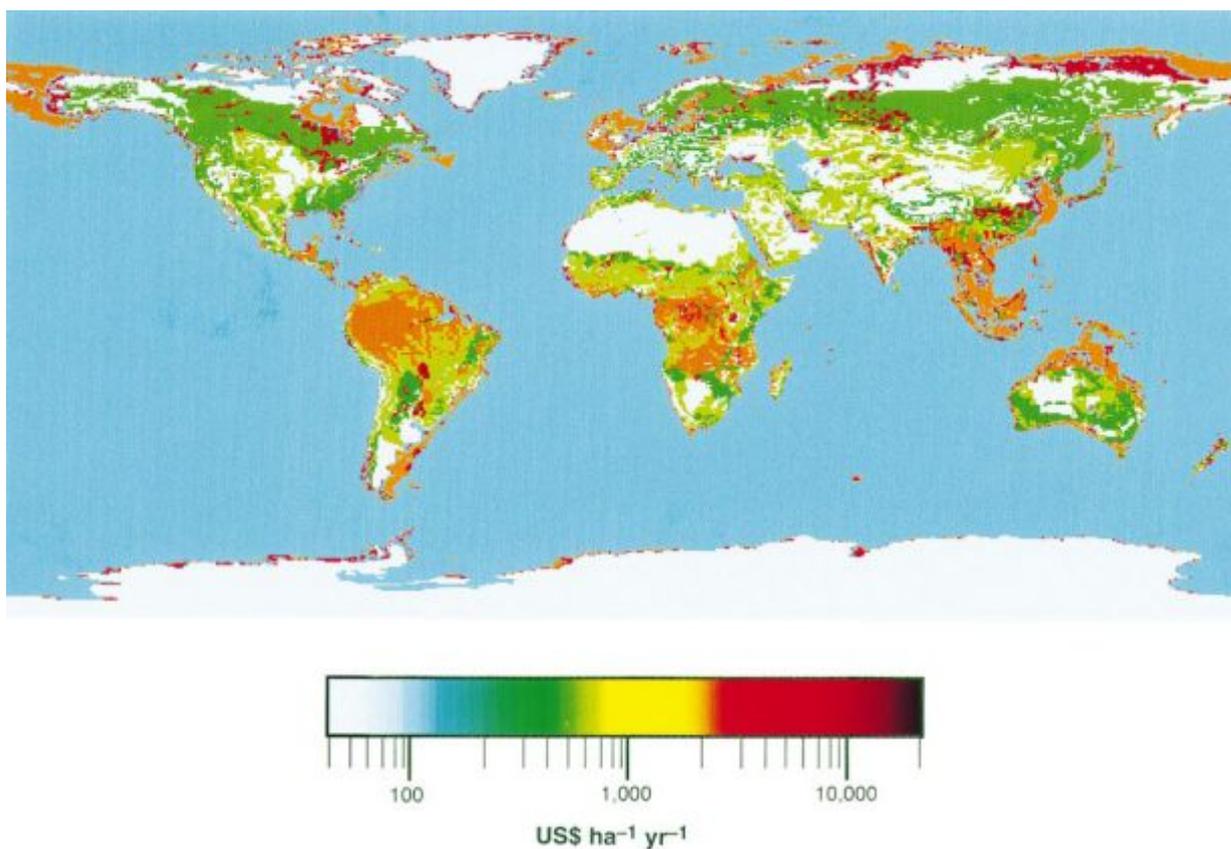


Рис 2. Глобальная карта стоимости экосистемных услуг (см. подробно *Дополнительную Информацию* и табл. 2)

Каждому биому и каждой экосистемной услуге было уделено значительное внимание. Подробные комментарии по каждому биому и всем данным приведены в *Дополнительной Информации*, даны в примечаниях после таблицы. Более детальное описание некоторых экосистем, их услуг и общих проблем оценки могут быть найдены в источнике ⁵. Ниже мы кратко обсудим некоторые общие положения, в равной степени справедливые для всех биомов.

Источники возможных ошибок и заблуждений

Наша попытка просчитать общую текущую экономическую стоимость экосистемных услуг ограничена по ряду причин, включая:

(1) Хотя мы попытались учесть максимальное количество факторов, в наш расчет не включен целый ряд категорий услуг, которые для многих экосистем еще не были соответствующим образом изучены. Кроме того, мы не нашли исследований, касающихся расчета стоимости услуг некоторых основных биомов (пустыня, тундра, ледник/скала и пахотное угодье). Мы ожидаем увеличение общей рассчитанной стоимости с появлением новой информации.

(2) Текущие цены, которые формируют основу (прямо или косвенно) многих расчетов стоимости, искажены по ряду причин, включая тот факт, что они не учитывают при расчете стоимость экосистемных услуг, домашнего труда и доходов от неформальной экономики. В дополнение к этому существуют различия между факторами общей стоимости, потребительского излишка, нетто-аренды (или излишком производителя) и $p * q$, все из которых используются для расчета индекса средних цен (стоимости единицы продукта; см. рис. 1).

(3) Во многих случаях стоимость основана на текущей готовности людей платить за экосистемные услуги, несмотря на то, что эти люди могут быть недостаточно осведомлены, и в своих предпочтениях они, возможно, не всегда стремятся к социальной справедливости, экологической устойчивости и другим важным целям ¹⁶. Другими словами, если бы мы жили в мире, который был бы экологически устойчивым, социально справедливым, и где все бы четко осознавали свою связь с экосистемными услугами, то и рыночные цены и опросы о готовности людей платить за подобного рода услуги ¹ отличались бы от существующих в настоящее время, а стоимость экосистемных услуг, вероятно, увеличилась бы.

(4) Рассчитывая текущую стоимость, мы предполагали, что кривые спроса и предложения выглядят, как изображено на рис. 1а. В действительности, кривые предложения для многих экосистемных услуг скорее являются не вертикальными линиями, а кривые спроса вероятно больше походят на рис. 1б, приближаясь к бесконечности, так как количество приближается к нулю. Таким образом, излишек потребления и производства и, следовательно, общая стоимость экосистемных услуг также приближается к бесконечности.

(5) Используемый в настоящей работе оценочный подход, предполагает отсутствие острых пороговых величин, разрывов или необратимости в функциях отклика экосистемы. С уверенностью можно сказать, что такое вряд ли возможно; поэтому данный подход опять же приводит к недооценке общей стоимости.

(6) Экстраполяция точечных оценок на глобальные итоги таит в себе ошибку. В целом, мы рассчитали стоимость единицы площади для экосистемных услуг

(га⁻¹ год⁻¹), а затем умножили полученные данные на общую площадь каждого биома. Полученные результаты можно считать «грубыми» и приблизительными, возможно, содержащими ошибки в зависимости от типа экосистемных услуг и пространственной разнородности.

(7) Во избежание двойного подсчета, предпочтительнее использовать структуру общего равновесия, которая уже подразумевает взаимозависимость между функциями экосистемы и услугами, в отличие от структуры частичного равновесия, используемой в данном исследовании (см. ниже).

(8) Стоимость отдельных функций экосистемы должна быть основана на *коэффициентах рационального использования*, принимая во внимание как соотношение «потенциальная ёмкость / пропускная способность» отдельных функций (таких как производство пищевых продуктов или рециркуляция отходов), так и объединенный эффект одновременного использования большего количества функций. Экосистемы должны быть в состоянии выполнять одновременно все функции, перечисленные в табл. 1, и неограниченное количество раз. Конечно, это не соответствует возможностям некоторых современных экосистемных услуг из-за злоупотребления существующими ценами.

(9) Мы не включили стоимость «инфраструктуры» экосистем, как отмечено выше, что ведет к недооценке общей стоимости.

(10) Разница в уровне дохода влияет на сопоставление стоимости между различными странами. Мы попытались изучить это в ряде случаев, используя ВВП относительной покупательной способности на душу населения страны, схожей с США, но это весьма грубый способ корректировки.

(11) В целом, мы использовали стоимость ежегодных потоков и избежали многих проблем, связанных с дисконтированием стоимости будущих потоков для того, чтобы получить чистую стоимость основного капитала. Тем не менее, некоторые расчеты, взятые из литературных источников, производились с учетом стоимости товарно-материальных запасов. Нам необходимо было принять во внимание ставку рефинансирования-ставку дисконтирования (5%) для их преобразования в ежегодные потоки.

(12) Наша оценка основана на статичном «снимке» того, что в действительности является сложной динамической системой. Мы рассмотрели статичную модель «частичного равновесия», предположив, что стоимость каждой услуги независима и аддитивна. Данное положение не учитывает сложные взаимозависимости между услугами. Расчетные данные также резко изменятся при переходе системы через критические нелинейные пороговые условия. Несмотря на то, что можно построить модели «общего равновесия», где стоимость всех услуг экосистемы выводится одновременно со всеми другими коэффициентами, а также построить динамические модели, учитывающие нелинейность и пороги, это редко делалось в такого рода исследованиях. Такие модели являются следующим логическим шагом в получении более точных расчетов стоимости экосистемных услуг.

В *Дополнительной Информации* мы попытались осветить все эти неопределенности как можно подробнее и определить диапазон сравнительной стоимости. Несмотря на ограничения, отмеченные выше, мы полагаем, что чрезвычайно важно обобщить оценки стоимости, даже при условии получения лишь «грубых» перво-

начальных данных. В целом, из-за природы отмеченных ограничений, полагаем, что наша текущая оценка является минимальной стоимостью услуг экосистемы.

Общая глобальная стоимость экосистемных услуг

Табл. 2 представляет собой краткое изложение результатов нашего исследования. В ней перечислены все основные биомы, даны оценки их современной глобальной площади поверхности, средние значения (на основе одного гектара) вычисленной стоимости 17 экосистемных услуг, указанных нами в *Дополнительной Информации*, и общая стоимость услуг экосистемы каждого биома для каждого типа услуги и для всей биосферы в целом.

Мы рассчитали, что при текущем уровне маржи, экосистемы ежегодно предоставляют различных услуг на сумму не менее US\$33 триллиона. В настоящее время большая часть стоимости рассматриваемых нами услуг находится вне системы рынка. Речь идет о таких услугах, как регулирование газа (US\$1,3 триллиона в год²¹), регулирование нарушений (US\$1,8 триллиона в год²¹), переработка отходов (US\$2,3 триллиона в год²¹) и круговорот элементов питания (US\$17 триллионов в год²¹). Приблизительно 63% стоимости приходится на водные системы (US\$20,9 триллиона в год²¹), большая часть из которых – за счет прибрежных систем (US\$10,6 триллионов в год²¹). Около 38% составляет доход от наземных систем, главным образом лесов (US\$4,7 триллиона в год²¹) и заболоченных территорий (US\$4,9 триллиона в год²¹).

Мы постарались просчитать стоимостный диапазон для каждого параметра, перечисленного в *Дополнительной Информации*. В табл. 2 указаны только средние значения. Если бы мы отталкивались от нижней границы нашего диапазона, то глобальная стоимость составила бы приблизительно US\$19 триллионов. Если мы исключим из расчетов круговорот питательных веществ, который является крупнейшей одиночной услугой стоимостью US\$17 триллионов, полная ежегодная стоимость составит приблизительно US\$16 триллионов. Если бы мы отталкивались от верхней границы нашего диапазона во всех расчетах, учитывая стоимость пустыни, тундры, ледников/скал, лугопастбищных угодий, стоимость составила бы приблизительно US\$54 триллиона. Таким образом, мы оценили весь диапазон годовой стоимости в US\$16-54 триллионов. Диапазон не так велик, учитывая некоторые трудности при расчетах, указанные выше. Тем не менее, важно подчеркнуть, что, несмотря на эти трудности, полученный результат во многом занижен по ряду вышеуказанных причин.

У нас ограничены возможности сравнивать наши результаты с результатами других исследователей, так как ранее предпринималось мало попыток просчитать общую глобальную стоимость экосистемных услуг. Мы обнаружили две таких работы, в основе которых лежат методы, радикально отличающиеся друг от друга и от тех, что были использованы в нашем исследовании. Это представляется нам весьма интересным.

Первая попытка основывалась на статичной модели общего равновесия потребления-производства на планете, включая экологические и экономические процессы и товары^{26,27}. Согласно данной модели, земной шар поделен на 9 товарных групп и 9 процессов, два из которых были «экономическими» (городской и сель-

скохозяйственный сектор), а 7 – «экологическими», включая наземные и водные системы. Данные были приблизительно за 1970 г. Хотя это был весьма укрупненный анализ, основанный на недостаточно точных данных, модель выявила ряд «теневых цен» и «теневой стоимости» для всех потоков между процессами, а также полезную отдачу системы, которую можно было использовать для подсчета общей стоимости экосистемных услуг.

Формат потребления-производства значительно лучше использованного нами формата частичного равновесия для того, чтобы дифференцировать потоки брутто от потоков нетто и избежать двойного подсчета. Согласно результатам общая стоимость полезной отдачи ⁷ глобальных процессов экосистем в 1972 г. равна US\$9,4 триллионов. При пересчете по курсу на 1994 г. стоимость составила приблизительно \$34 триллиона, что удивительно близко к нашей текущей средней стоимости. Стоимость наземных процессов экосистемы составила бы US\$11,9 триллионов (или 35%), а водных – US\$22,1 триллиона (или 65%), что также очень близко к нашей текущей стоимости. Мировой ВВП в 1970 г. составлял приблизительно \$14,3 триллионов (в 1994 US\$). Отношение всех экосистемных услуг к ВВП составило приблизительно 2,4 к 1, в настоящее время – 1,8 к 1.

В более позднем исследовании ²⁸ авторы просчитали «максимальную рациональную прибавочную» стоимость экосистемных услуг, рассматривая экосистемные услуги как единый вклад в совокупную глобальную производственную функцию, наряду с трудом и произведенным капиталом. Их расчетные данные колебались от US\$3,4 до US\$17,6 триллионов в год, в зависимости от различных допущений. Этот подход предполагал, что общая стоимость экосистемных услуг ограничена тем, что прямо или косвенно влияет на рыночную стоимость, и, таким образом, не может превышать общий мировой ВВП, приблизительно равный US\$18 триллионам. Но, как мы уже отметили, только часть экосистемных услуг затрагивает частные блага, продаваемые на существующих рынках, которые были бы включены в такой индекс как ВВП. Это тот ряд услуг, которые мы оценили, поэтому полагаем, что наши расчеты несколько занижают стоимость всех экосистемных услуг.

Результаты обоих этих исследований указывают на то, что результаты наших расчетов находятся в приблизительно том же самом диапазоне. Мы уже отметили существование ряда недостатков настоящего и двух предыдущих исследований. Все они – лишь статичные «снимки» биосферы, являющейся сложной, динамической системой. Очевидно, что следующим шагом является посторенние региональных ¹ и глобальной модели единой эколого-экономической системы, нацеленной на улучшение понимания как сложной динамики физических/биологических процессов, так и значимости этих процессов для всего человечества ^{29,30}. Однако нам не нужно ждать результатов исследования таких моделей для того, чтобы сделать следующие выводы.

Дальнейшее обсуждение проблемы

Данное исследование делает очевидным тот факт, что экосистемные услуги обеспечивают важную часть общего вклада в благосостояние человечества. Нам необходимо начать придавать соответствующий вес природному капиталу, кото-

рый предоставляет эти услуги, в противном случае, в скором будущем благосостояние человечества может значительно ухудшиться. В настоящем исследовании мы оценили годовую стоимость таких услуг в диапазоне от 16 до 54 триллионов US\$, а в среднем – 33 триллиона US\$. Несомненно, что реальная стоимость намного выше, даже при текущем уровне маржи. 33 триллиона US\$ в 1,8 раза выше нынешнего глобального ВВП. Из этого следует, что, если бы мы попытались заменить экосистемные услуги при текущем уровне маржи, то было бы необходимо увеличить глобальный ВВП, по крайней мере, на US\$33 триллиона, чтобы частично покрыть услуги, которые уже зафиксированы в существующем ВВП, и частично покрыть услуги, которые в настоящее время не зафиксированы в ВВП. Эта невыполнимая задача не приведет к увеличению благосостояния, потому что мы будем только заменять существующие услуги, что игнорирует тот факт, что многие экосистемные услуги незаменимы в прямом смысле слова.

Если бы экосистемные услуги оплачивались, исходя из их вклада в мировую экономику, то мировая ценовая система сильно бы отличалась от сегодняшней. Цена на товары с учетом экосистемных услуг, напрямую или косвенно, была бы значительно выше. Структура факторных платежей, включая заработную плату, процентные ставки и прибыль резко бы изменилась. Мировой ВВП существенно бы отличался по величине и составу, если бы учитывал в достаточной мере стоимость экосистемных услуг. На практике наши расчеты должны помочь скорректировать национальные системы учета так, чтобы они лучше отражали стоимость экосистемных услуг и природного капитала^К. При первых же попытках реализации этого вырисовывается совсем иная картина текущего уровня экономического благосостояния, отличающаяся от данных традиционного ВВП, отмечающего выравнивание благосостояния приблизительно с 1970 г., в то время как сам ВВП продолжил рост³¹⁻³³. Также наши расчеты важны для оценки различных проектов, где «утерянные» экосистемные услуги должны быть сопоставлены с доходами от определенного проекта⁸. Так как экосистемные услуги находятся в значительной степени вне рыночных отношений, их слишком часто игнорируют или недооценивают, что ведет к ошибкам в строительных проектах, общественные издержки которых значительно превышают соотношение «прибыль/льготы».

Поскольку в будущем природный капитал и экосистемные услуги подвергнутся большему давлению и «оскудеют», то мы ожидаем увеличение их стоимости. Если исчерпать возможности невозобновляемых экосистемных услуг, то их стоимость может резко увеличиться до бесконечности. Возможно, нам никогда не удастся получить точную стоимость экосистемных услуг, учитывая ряд описанных выше проблем. Тем не менее, даже «грубая» первоначальная оценка, которую нам удалось сделать, является важной отправной точкой (мы подчеркиваем снова, что это только отправная точка). Она служит доказательством необходимости дальнейших исследований, а также обозначает конкретные аспекты, требующие дополнительного изучения. Она также выдвигает на первый план относительную важность экосистемных услуг и потенциальное воздействие их траты на наше благосостояние.

Список литературы

1. de Groot, R. S. Environmental functions as a unifying concept for ecology and economics. *Environmentalist* 7, 105–109 (1987).
2. Turner, R. K. *Economics, Growth and Sustainable Environments* (eds. Collard, D. et al.) (Macmillan, London, 1988).
3. Turner, R. K. Economics of wetland management. *Ambio* 20, 59–63 (1991).
4. deGroot, R. S. *Functions of Nature: Evaluation of Nature in Environmental Planning, Management, and Decision Making* (Wolters-Noordhoff, Groningen, 1992).
5. Daily, G. (ed.) *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems* (Island, Washington DC, 1997).
6. Turner, R. K. & Pearce, D. in *Economics and Ecology: New Frontiers and Sustainable Development* (ed. Barbier, E. D.) 177–194 (Chapman and Hall, London, 1993).
7. Costanza, R. & Daly, H. E. Natural capital and sustainable development. *Conserv. Biol.* 6, 37–46 (1992).
8. Bingham, G. et al. Issues in ecosystem valuation: improving information for decision making. *Ecol. Econ.* 14, 73–90 (1995).
9. Mitchell, R. C. & Carson, R. T. *Using Surveys to Value Public Goods: the Contingent Valuation Method* (Resources for the Future, Washington DC, 1989).
10. Costanza, R., Farber, S. C. & Maxwell, J. Valuation and management of wetlands ecosystems. *Ecol. Econ.* 1, 335–361 (1989).
11. Dixon, J. A. & Sherman, P. B. *Economics of Protected Areas* (Island, Washington DC, 1990).
12. Barde, J.-P. & Pearce, D. W. *Valuing the Environment: Six Case Studies* (Earthscan, London, 1991).
13. Aylward, B. A. & Barbier, E. B. Valuing environmental functions in developing countries. *Biodiv. Cons.* 1, 34 (1992).
14. Pearce, D. *Economic Values and the Natural World* (Earthscan, London, 1993).
15. Goulder, L. H. & Kennedy, D. in *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems* (ed. Daily, G.) 23–48 (Island, Washington DC, 1997).
16. Costanza, R. & Folke, C. in *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems* (ed. Daily, G.) 49–70 (Island, Washington DC, 1997).
17. Matthews, E. Global vegetation and land-use: new high-resolution data bases for climate studies. *J. Clim. Appl. Meteorol.* 22, 474–487 (1983).
18. Deevey, E. S. Mineral cycles. *Sci. Am.* 223, 148–158 (1970).
19. Ehrlich, R., Ehrlich, A. H. & Holdren, J. P. *Ecoscience: Population, Resources, Environment* (W.H. Freeman, San Francisco, 1977).
20. Ryther, J. H. Photosynthesis and fish production in the sea. *Science* 166, 72–76 (1969).
21. United Nations Environmental Programme First Assessment Report, Intergovernmental Panel on Climate Change (United Nations, New York, 1990).
22. Whittaker, R. H. & Likens, G. E. in *Primary Production of the Biosphere* (eds. Lieth, H. & Whittaker, R. H.) 305–328 (Springer, New York, 1975).
23. Bailey, R. G. *Ecosystem Geography* (Springer, New York, 1996).
24. Houde, E. D. & Rutherford, E. S. Recent trends in estuarine fisheries: predictions of fish production and yield. *Estuaries* 16, 161–176 (1993).
25. Pauly, D. & Christensen, V. Primary production required to sustain global fisheries. *Nature* 374, 255–257 (1995).
26. Costanza, R. & Neil, C. in *Energy and Ecological Modeling* (eds. Mitsch, W. J., Bosserman, R. W. & Klopatek, J. M.) 745–755 (Elsevier, New York, 1981).

27. Costanza, R. & Hannon, B. M. in *Network Analysis of Marine Ecosystems: Methods and Applications* (eds. Wulff, F., Field, J. G. & Mann, K. H.) 90–115 (Springer, Heidelberg, 1989).
28. Alexander, A., List, J., Margolis, M. & d'Arge, R. Alternative methods of valuing global ecosystem services. *Ecol. Econ.* (submitted).
29. Costanza, R., Wainger, L., Folke, C. & Maler, K.-G. Modeling complex ecological economic systems: toward an evolutionary, dynamic understanding of people and nature. *BioScience* 43, 545–555 (1993).
30. Bockstael, N. et al. Ecological economic modeling and valuation of ecosystems. *Ecol. Econ.* 14, 143–159 (1995).
31. Daly, H. E. & Cobb, J. *For the Common Good: Redirecting the Economy Towards Community, the Environment, and a Sustainable Future* (Beacon, Boston, 1989).
32. Cobb, C. & Cobb, J. *The Green National Product: a Proposed Index of Sustainable Economic Welfare* (Univ. Press of America, New York, 1994).
33. Max-Neef, M. Economic growth and quality of life: a threshold hypothesis. *Ecol. Econ.* 15, 115–118 (1995).

Благодарности

S. Carpenter во многом поспособствовал нашему проекту. M. Grasso помог в поиске литературных источников. Мы благодарны S. Carpenter, G. Daily, H. Daly, A.M. Freeman, N. Myers, C. Perrings, D. Pimentel, S. Pimmand, S. Postel за их полезные замечания к предыдущим статьям. Спонсором настоящего проекта являются Национальный Центр Экологического Анализа и Синтеза (NCEAS) и Центр при Университете Калифорнии в Санта-Барбаре, финансируемый за счет Национального Научного Фонда. Авторы настоящей статьи встречались с 17 по 21 июня 1996 г. для сведения данных в единое целое. Идея провести подобные исследования родилась на встрече ученых, организованной при поддержке Исследовательского Центра им. Джозефа Н. Пью (Joseph N. Pew), в Нью-Хэмпшире в октябре 1995 г.

Вопросы и предложения направляйте в Исследовательский центр (e-mail: costza@cbl.cees.edu). *Дополнительную Информацию* можно найти на сайте www.nature.com; печатные копии статьи – у Mary Sheehan в лондонской редакции журнала "Nature".