
ТЕОРИЯ И СОЦИАЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ ГЕОГРАФИИ

УДК 911.5/9, 502.31 330.122, 330.15

ОБЩИЕ ОСНОВАНИЯ КОНЦЕПЦИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ И ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ

© 2012 г. Ю.Г. Пузаченко

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова, РАН

Поступила в редакцию 31.05.2011 г.

В статье рассматриваются общие основания концепций устойчивого развития и экосистемных услуг. Показано, что их базовые положения: понятия капитала, пропускной способности, стоимости интерпретируемы в терминах логистических моделей, пропускной способности канала связи К. Шеннона, теории информации и неравновесной термодинамики. Следствием, вытекающим из системных отношений, является малый вклад природных ресурсов в рыночную стоимость и интегральные индексы типа ВВП.

Разработка концепции устойчивого развития была стимулирована Комиссией по окружающей среде и развитию ООН, образованной в 1983 г. От СССР в состав комиссии входил академик В.Е. Соколов. Комиссия по результатам открытых слушаний в различных странах установила, что большие проблемы люди видят не в окружающей среде, а в социально-экономическом состоянии общества. Это определило вывод о неразрывности проблем среды и социально-экономического развития и в конечном итоге стало основой концепции устойчивого развития (sustainability): “Жизнеспособное (устойчивое) глобальное развитие требует от тех, кто более богат, принимать образ жизни в пределах планетарных экологических возможностей. Жизнеспособное развитие может быть только в том случае, если рост населения находится в гармонии с возможностями производительного потенциала экосистем”.

В 1987 г. R. Constanza и H. Daly [24] обращают внимание на тот факт, что современная классическая и неоклассическая экономика плохо оценивают такие составляющие развития, как природные ресурсы, игнорируют культурное и социальное поведение как объект влияния на развитие, вклад немонетарных ценностей в развитие, дисконтирование, существенное повышение ценности настоящего относительно ценности в будущем. Авторы формулируют представления об экологической экономике, подразумевая под этим синтез экономики и экологии в рамках

единой науки с общими теоретико-методологическими основаниями. В том же году большой коллектив авторов [23], в соответствии с концепцией экологической экономики, ввел представление о природном капитале в сопоставлении его с банковским, промышленным и информационным капиталами, подразделив каждый из них на основной и оборотный, и дал старт широкому использованию понятия “экосистемные услуги”.

Они состоят из потоков вещества, энергии, и информации от естественных основных капиталов, которые объединяются с услугами производственного и человеческого капиталов, определяя человеческое благосостояние. Кроме того, авторы осуществили первую попытку выразить экосистемные услуги биосферы в монетарном измерении.

Позже R. Costanza и др. [26] определяют, что “экологическая экономика – новая трансдисциплинарная область исследования, которая обращается к отношениям между экосистемами и экономическими системами в самом широком смысле. Эти отношения являются главными во многих из существующих проблем человечества и в строительстве жизнеспособного будущего, но не охвачены никакой существующей научной дисциплиной”. Отмечено, что экологическая экономика ориентирована на решение проблем устойчивого развития. Здесь же определены пять основных проблем: 1) устойчивость: под-

держание нашей системы жизнеобеспечения; 2) оценка природных ресурсов и естественного капитала; 3) экологический бухгалтерский учет экономической системы; 4) эколого-экономическое моделирование в местном, региональном и глобальном масштабах, 5) инновационные инструменты для экологического управления. Эти работы создали теоретическую основу концепции устойчивого развития и экосистемных услуг, вошедшую в различные международные документы и получившую особо широкую популярность после выхода в свет фундаментального труда “Оценки экосистем на пороге тысячелетия, Экосистемы и благосостояние людей: рамки оценки. 2005” [4].

Близкие к экологической экономике идеи рассматриваются и в рамках “естественного капитализма (Natural capitalism)” [39]. В рамках этой концепции утверждается, что “следующая промышленная революция” зависит от поддержки четырех центральных стратегий: сохранение ресурсов посредством более эффективных производственных процессов, повторного использования материалов, как это происходит в естественных системах, перехода от количества к качеству, увеличение капиталовложений в естественный капитал. Сходные положения формулируются и в “зеленой экономике” [18].

Анализ обширной литературы по проблеме показывает, что, несмотря на популярность темы, не существует ясное представление о путях устойчивого развития, его пределах, единой системе измерения состояний четырех основных капиталов, обеспечивающих оценку соответствия реальных процессов критериям устойчивости и обеспечения через экосистемные услуги роста благосостояния в различных пространственных и временных масштабах.

Вместе с тем, три базовых понятия, заложенных в экологической экономике: капитал, пропускная способность, благосостояние – имеют все основания получить общее системное представление, связанное с фундаментальными законами функционирования и развития природы и общества, и тем самым создать все основания для соизмеримости функций и процессов в природно-социально-экономической системе.

Именно определение этих общих теоретико-методологических оснований и является **целью и предметом предлагаемой статьи**. В качестве общей теоретической базы предлагается рассматривать логистическую модель популяции с ее вариантами, закон пропускной способно-

сти канала связи С. Шеннона [17, 56] и положения неравновесной термодинамики, обобщающей представления об энтропии-информации [15, 16].

Общесистемное представление о природном капитале. Экологические экономисты Р. Констанца и Г. Дейли [25], Р. Нева [49] определяют капитал как запас, который обеспечивает поток товаров или услуг в будущее. В отличие от запаса потоки изменяются во времени.

Эти понятия непосредственно выводимы из логистической модели (в математической экономике часто определяется как S curve) Ферхлюста. Модель, изначально отображающая рост численности в популяции организмов, описывает рост числа элементов (N) в любой автономной системе, в которой элементы порождают себе подобных пропорционально коэффициенту r и в которой действуют силы внутреннего трения или конкуренции, приводящие к гибели или иммиграции части элементов, обратно пропорционально N^2 с коэффициентом b :

$$\frac{dN}{dt} = rN - bN^2. \quad (1)$$

Соответственно dN/dt есть не что иное, как поток. Очевидно, что для условий равновесия $\frac{dN}{dt} = 0$, $N = r/b = K$. “ K ” в англоязычной литературе обычно обозначают довольно многозначным понятием Carrying Capacity. В русскоязычной литературе употребляется термин “емкость” [14] и понимается как емкость среды. Из вывода K (уравнение (1)) следует, что это так, если рассматривать r как функцию условий среды. Но это справедливо лишь отчасти. В экологии r = рождаемость – смертность. Количество элементов, которое может породить один элемент, для каждой системы имеет некоторую “физиологическую” норму, и только смертность можно непосредственно связать с действием среды. Кроме того, емкость определяется коэффициентом самоингибирования, а в общем случае способом организации системы. Таким образом, K одновременно и собственный параметр системы и функция среды, отражающая число элементов, которое система может удерживать в себе в условиях равновесия. Естественно, что K зависит от условий среды в той степени, в какой он определяется коэффициентом размножения. В модели какие-либо действия среды, записанные в явной форме, отсутствуют. Таким образом, логично рассматривать K как полный потенциальный запас элементов для самовоспроизводства, то есть как

капитал. Из уравнения (1) следует, что при фиксированном K приращение (поток) максимально при $N_k = K/2$. При $N > N_k$ и при $N_k < K$ приращение меньше. При росте капитала приращение стремится к нулю. Таким образом, если желательно поддерживать максимальное воспроизводство или поток, то капитал необходимо поддерживать на вполне определенном уровне. В соответствие с этим $K/2$ можно ассоциировать с основным капиталом в экономике. Чтобы удерживать систему на уровне максимального воспроизводства, необходимо изымать полученную продукцию в количестве $dN/dt = r \cdot 0.25K$ [55].

В противном случае система будет переводить элементы, полученные в ходе самовоспроизводства, в основной капитал и тем самым снижать свою производительность или поток. Максимально возможное приращение можно определить как максимальный устойчивый урожай или прибыль (maximum sustainable yield, MSY). Способность создавать устойчивый урожай – фундаментальное свойство самовоспроизводящихся систем, определяющее фактически возможность существования и развития живого вещества во всех его проявлениях.

В соответствии с уравнением (1), система может прийти в равновесие, достигнув уровня K . Однако в природе это происходит редко. Еще не достигнув предельной емкости, система резко или постепенно снижает число элементов или изменяет свою структуру так, что увеличивает свою емкость и соответственно уровень оптимального основного капитала. Обычно в области, которая статистически индицируется как равновесие, система испытывает квазипериодические или стохастические изменения потока, что указывает и на флуктуацию емкости. Более общая – так называемая модель с запаздыванием, в которой самоингибирующее воздействие действует с запаздыванием на время τ . [14]. Время запаздывания в экологии соотносят со средним временем вступления размножения. В общем случае этот параметр можно связать со средним временем активации нового поколения элементов системы.

Несмотря на частичное соответствие уравнения 1 реальной динамике, оно является базовым для решения многих практических задач биоэкономики применительно к использованию охотничьих, рыбных, лесных и других возобновимых ресурсов. Недоучет естественной динамики и создает определенные проблемы в решении задач управления [21], но не отменяет представления о капитале и урожае.

В настоящее время в рамках биоэкономики [55] широко используется модификация уравнения (1) – модель Гордона-Шефера

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K} \right) - Y, \quad (2)$$

где Y – собираемый урожай, в общем случае – общий доход без учета затрат, доступная для использования часть воспроизводства.

После соответствующих преобразований получаем для условия равновесия

$$Y = pNK \left(1 - \frac{pN}{r} \right), \quad (3)$$

p – доля извлекаемых элементов из N . Максимум Y достигается при $N = MSY$.

Очевидно, для самовоспроизводящейся системы Y есть изъятие, не приводящее к каким-либо нарушениям самой системы (природная рента).

Модифицируя уравнение (1), можно ввести критическую емкость K_0 . Если $N < K_0$, то система необратимо разрушается:

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K} \right) \left(\frac{N}{K_0} - 1 \right). \quad (4)$$

Тем самым в модель вводится минимально допустимый капитал.

Рассмотренные базовые модели с большим или меньшим успехом используются для возобновимых биологических ресурсов, экономических и социальных систем. В важном продовольственном секторе – морском рыболовстве соединены модели биологии и экономики, что послужило, в частности, основой становления биоэкономики, положения которой приемлемы для любых вариантов взаимодействия с самовоспроизводящимися системами. Широко используются в различных секторах экономики и логистические модели [7, 42, 44, 50 и др.]. Arnulf Grubler [37] применил логистическую модель к проблемам инноваций и для объяснения циклов Кондратьева. Если рассматривать волны Кондратьева в рамках логистических моделей с запаздыванием, то получаем время запаздывания $\tau = 12$ –14 лет. Это запаздывание примерно соответствует возрасту людей, создающих инновации и технологии в наиболее продуктивный период после окончания высшего образования: 30–35 лет, а сам период 50–55 лет соответствует среднему максимальному времени научного долгожительства в интеллектуальных профессиях.

Современная математическая экология, конечно, не ограничивается логистической моделью,

но общность ее для широкого класса самовоспроизводящихся систем позволяет полагать, что и другие более сложные экологические модели могут описывать поведение экономических, технологических и социальных систем. Так, модели пространственной диффузии, разработанные в экологии, оказались приемлемы для объяснения движения инноваций в пространстве [37].

В рамках макроподхода экологической экономике принято рассматривать четыре–пять основных капиталов [22]:

1) природный капитал (прежде всего земля), который включает экологические системы, минеральные депозиты и другие созданные природой блага;

2) человеческий капитал (прежде всего рабочая сила), включает, в частности, уровень здоровья, образования, потенциала рабочей и интеллектуальной мощности, навыков и знаний;

3) произведенный капитал включает все средства производства и инфраструктуру;

4) социальный капитал – правила, нормы, способность людей к объединению для достижения общей цели;

5) финансовый капитал – банковские активы.

Естественный капитал можно полностью связать с функционированием живого вещества в биосфере, геодинамическими процессами в атмосфере и литосфере во взаимодействии с ядром Земли. Это более расширенное представление о естественном капитале. Однако циклическое преобразование планетарного вещества под действием солнечной энергии, энергии гравитации, энергии взаимодействия с планетами солнечной системы, безусловно, порождает динамические циклы на самом общем уровне, воспроизводимые логистической моделью и связанной с ней моделью нелинейного осциллятора. Так, например, и в настоящее время, безусловно, происходит накопление в ископаемой форме углеводородов. Собственное время накопления их в живой биомассе лежит в интервале от нескольких дней до 100–150 лет в почве – в первую сотню–тысячи лет, в торфе и различных илах – практически необратимо. Преобразование других биогенных элементов, по-видимому, следует за углеродом. Скорее всего процесс накопления их в форме будущих геологических слоев происходит медленнее, чем в прошлом, и биосфера скорее всего превысила точку накопления основного капитала, определяющего максимальную мощность потока углерода. В отличие от этой более общей трактовки к воспроизводимым ресурсам обычно относят

то, что связано с процессом, соизмеримым с собственным временем социума, то есть в среднем соизмеримым со временем смен цивилизаций. Это, конечно, поток различных видов продукции, создаваемой на основе поглощения солнечной энергии, в том числе поток пресной воды. На глобальном уровне он определяется запасом воды в мировом океане и емкостью атмосферы, определяемой температурой. На региональном, а возможно, и на глобальном уровнях он определяется потоком влаги в первую очередь через древесную растительность, максимально полно использующую влагоемкость почвы.

Потоки, связанные с каждым капиталом, можно описать динамическими логистическими моделями, связав их между собой положительными и отрицательными обратными связями. Так, связь производственного и человеческого капиталов с естественным капиталом будет в основном образована по схеме обратной отрицательной связи (хищник – жертва). Финансовый и производственный капиталы так же, как человеческий и социальный, связаны в основном положительной обратной связью. Не вдаваясь в детали, можно утверждать, что капиталы можно представить через систему уравнений, описывающих динамическую автоколебательную нелинейную систему, функционирующую в результате подвода к ней различных форм энергии. Такая система не имеет оснований для развития и реалистична лишь для относительно небольшого интервала времени, соизмеримого с циклом Кондратьева. Но как модель для исследования она может быть полезна, хотя бы потому, что при определенных соотношениях параметров может порождать скачкообразные переходы на разные уровни локального равновесия. С другой стороны, она полезна для статистического анализа пространственно-временной динамики избранных переменных, характеризующих различные капиталы. Такой анализ может создать основу для приведения всех действующих сил к единой, например мониторинговой или энергетической, системе измерений. Возможно, такая макро модель заставит пересмотреть и функциональную роль человека в биосфере. Так, например, если биосфера действительно прошла точку максимального устойчивого урожая, то его деятельность по извлечению и включению в круговорот углеводородов и элементов минерального питания не противоречит устойчивости биосферы. Увеличение содержания углерода в атмосфере и поступления элементов минерального питания, безусловно, увеличивает поток биологической продукции и соответственно воды. Как следствие – возможное сокращение применения

химических удобрений в сельском хозяйстве и увеличение потока непосредственно используемой биологической продукции. Наконец, возможно, такая модель позволит оценить критические уровни основного капитала и более точно границы необратимости. Подобный подход в первом приближении продемонстрировал, в частности, Barkley [53].

Энтропия, информация, действие для “зеленой экономики”. Представления об энтропии и информации до сих пор остаются предметом обсуждения. Одна и та же их формальная запись порождает различные семантические трактовки. В соответствии со вторым началом термодинамики, рост энтропии в замкнутой системе ведет к уменьшению полезной работы и становится мерой деградации системы. Но, в более широкой трактовке по образному выражению Пригожина, “порядок возникает из хаоса”, то есть энтропия становится источником нового порядка. Энтропия или неопределенность становится основой выбора, то есть информации. Информация есть устраненная неопределенность. Стратонович [15] и Хазен [16] показывают, что действие (произведение скорости на массу и пройденный путь) как переменная механики есть энтропия-информация. Эти основания позволяют полагать, что законы передачи информации и реализации некоторого действия являются общими и позволяют единообразно описать правила передачи информации к капиталу любой подсистемы от ее среды.

Закон пропускной способности непрерывного канала связи с шумом от передатчика к приемнику был выведен К. Шенноном [56] на основе представления сигнала в многомерном пространстве полосы частот передатчика и времени передачи, где мощность сигнала связывается с квадратом расстоянием от начала координат, а шум – со случайными отклонениями от этого расстояния. Его истинность не зависит от физической формы реализации канала связи, и он применим для описания реакции любой частной формы капитала на внешнее воздействие.

Теорема Шеннона (“the exact capacity of a noisy channel” (в русском переводе “точное значение пропускной способности канала при наличии шума”) утверждает: пусть P – средняя мощность передатчика и пусть помеха есть белый шум с мощностью N в полосе частот W . Применяя достаточно сложную систему кодирования, можно передавать двоичные цифры со скоростью

$$C = w \log_2 \frac{P + N}{N}, \quad (5)$$

со сколь угодно малой частотой ошибок. Никакой метод кодирования не допускает передачи с большей скоростью при произвольно малой частоте ошибок.

Теорема может быть распространена на любую форму взаимодействия по схеме: внешняя переменная (вход) – функция (выход). Средняя мощность сигнала, заданная через квадрат расстояния от начала координат, очевидно, прямо связана со средним значением внешней переменной. При этом никакая передача информации и никакие действия не могут осуществляться, если не существует варьирования переменной во времени.

Полоса частот (понятие теории связи) может иметь самую широкую интерпретацию: в трофической интерпретации это может быть число видов используемых кормов, в производстве – число видов выпускаемой или используемой продукции, в общем случае это просто широта специализации: чем больше w , тем меньше специализация. Пропускная способность C в зависимости от постановки задачи может быть ассоциирована с $\ln K$, $\ln N$, $\ln N_k$ и $\ln (dN/dt)$.

В соответствии с Шенноном, шум связан с частотой как $N = wN_0$, где N_0 – шум на единицу полосы частот, и пропускная способность канала связи

$$C = w \log \left(1 + \frac{P}{wN_0} \right). \quad (6)$$

Таким образом, полоса частот входит в канал с положительным и отрицательным знаками, и функция существенно нелинейная. Полоса частот определяет пропускную способность на макроуровне, а на микроуровне – уровень ошибок в работе каждого элемента, преобразующего информацию. Чем более деспециализирована система, тем больше случайные ошибки на уровне элементов, но и больше общая пропускная способность.

Производная пропускной способности канала от мощности сигнала $dC/dP = 1/(1 + P/W) = w/(w + P)$ и соответственно при увеличении мощности приращение пропускной способности стремится к нулю. В итоге увеличение деспециализации дает существенные преимущества только при малой мощности сигнала. Приращение $dC/dW = \log(1 + P/W) - (P/(W + P))$ отражает быстрое снижение приращения пропускной способности с ростом w . Область существенного увеличения пропускной способности при увеличении специализации очень узкая и движение в ней к деспециализации приводит к быстрому уменьшению приращения. Отсюда вытекает общее пра-

вило “тупика специализации” у адаптирующихся систем.

Если допустить, что функционирование системы устойчиво с некоторой пропускной способностью C_{opt} и она способна, изменяя специализацию, поддерживать ее при изменении мощности сигнала, то можно записать

$$C_{opt} = (W_{max} - \alpha \ln(1 - P)) \times \ln \left(1 + \frac{P}{W_{max} - \alpha \ln(1 - P)) N_0} \right), \quad (7)$$

где W_{max} – максимально возможная ширина полосы частот и α – коэффициент адаптации. В результате такого преобразования получаем параболическую форму зависимости пропускной способности от мощности сигнала, и при уменьшении мощности сигнала специализация уменьшается, а при увеличении, напротив, увеличивается.

Если система, получающая информацию, самоорганизующаяся, то для увеличения общей пропускной способности она должна принимать информацию по относительно независимым каналам с непересекающимися частотами w_i при $W = \sum w_i$.

Если допустить, что имеет место возникновение в системе k каналов с полосами частот w_i , то получим

$$C = \sum_{i=1}^k w_i \log(1 + P) - N_0 \sum_{i=1}^k w_i \log w_i. \quad (8)$$

Общая полоса частот системы $W \Leftarrow \sum w_i$. Очевидно, что в правой части уравнения появляется переменная, по смыслу тождественная энтропии. В целом, чем больше энтропия, тем больше взаимопомех и меньше общая пропускная способность. Было показано [8, 10–13], что пропускная способность совокупности специализированных каналов больше, чем одного канала с полосой, равной сумме частных; и максимум достигается при определенном уровне доминирования одного из них.

Закон пропускной способности канала фактически отражает связь между информацией и действием или преобразованием действия некоторой внешней силы в информацию и информации в действие системы, принимающей ее.

Естественным дополнением к закону скорости передачи информации является закон необходимого разнообразия У.Р. Эшби [17], определяющий в первую очередь возможности регулятора, то есть части системы, ограничивающей варьиро-

вание ее выхода или ее разнообразия при воздействии внешних переменных. Закон утверждает, что разнообразие может быть уменьшено только разнообразием.

Энтропия или разнообразие (у Эшби – variety) есть $H = -\sum_i^k p_i \log p_i$, где p_i – вероятность состояния, i – средняя информация на событие в рассматриваемом дискретном множестве с k -состояния.

Информативность $J = -k \log p_i$ – количество информации в событии из класса i . Таким образом, чем реже событие, тем больше его информативность, больше содержание в нем информации.

Пусть E – система, D – среда вносящая возмущения, R – регулятор, тогда $HE \leq HD + H_d R - HR$, где $H_d R$ – условная энтропия регулятора относительно возмущения или шум в канале связи от D к R . Таким образом, чем больше энтропия регулятора, тем меньше энтропия или варьирование E . Следовательно, энтропия в уравнении пропускной способности для нескольких одновременно работающих каналов связи автоматически выполняет функцию регулятора, снижающего потенциальное варьирование общей пропускной способности.

Покажем, что фундаментальные эмпирические модели экономики и психологии являются частными случаями закона пропускной способности канала связи. Производственная функция Кобба–Дугласа (production function Cobb–Douglas), полученная на основе анализа эмпирических данных для США в 1928 г., широко применяется в макро- и микроэкономическом анализе [32], но до сих пор не имеет теоретического обоснования. Изначально она устанавливала связь продукции (Q) с численностью рабочей силы (L) и капиталом (K) при некоторой существующей технологии производства (A):

$$Q = AL^\alpha K^{1-\alpha}.$$

В логарифмической форме соответственно

$$\log Q = \log A + \alpha \log L + (1 - \alpha) \log K.$$

Очевидно, что это выражение тождественно пропускной способности канала связи от трех переменных. В нем только отсутствует “шум”, величина которого определяет минимально допустимый уровень переменных, и единица, которая сохраняет смысл соотношения при мощностях переменных равных нулю. Модель может быть расширена до нескольких переменных

$\log Q = \log A + \sum w_i \log (X_i)$ и в таком виде является одним из теоретических оснований неоклассической экономики.

Производственная функция широко используется для расчета стоимости производства, оптимизации соотношения рабочей силы и капитала, оценки максимальной возможной прибыли и других экономических параметров [5, 46]. Точно ту же модель использует эколог, определяя зависимость численности, запас (капитал) или продуктивность любого организма от условий среды. Практика показывает, что представление всех переменных в логарифмической форме дает наилучшие статистические оценки качества моделей.

Общее важное свойство производственной функции – взаимокompенсация переменных относительно продукции: низкая мощность сигнала по одной из них может быть компенсирована большей мощностью по другой. Принцип минимума Либиха включается только в случае нулевой мощности.

В информационной записи в производственную функцию естественно включить адаптационную составляющую, определяющую снижение полосы частот при увеличении мощности сигнала в виде $w_i = w_{\max} - \alpha_i \log X_i$ (уравнение (6)). Адаптивность подразумевает, что входная переменная с малой мощностью используется более интенсивно, чем переменная с большой мощностью, что в конечном итоге приводит к более равномерному использованию всех ресурсов. Если речь идет о переменных с известным критическим уровнем капитала, то естественно вычесть его величину из X_i , что исключит необратимое разрушение его источника.

В производственную функцию можно включить как переменную “ресурсы среды” и осуществить экономический анализ получаемых отношений [26]: $Q = K^{\alpha_1} R^{\alpha_2} L^{\alpha_3}$, $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$, K – капитал, R – поток природных ресурсов, L – рабочая сила. Georgescu-Roegen [32] показал бессмысленность этого выражения. Действительно, если принять

Q и L постоянными, то $R^{\alpha_2} = \frac{Q}{K^{\alpha_1} L^{\alpha_3}}$, и соот-

ветственно если увеличивать вложение капитала, то ресурс будет уменьшаться до очень малых величин, а продукция Q останется неизменной. Абсурдность результата очевидна. Но, несмотря на это, заменимость природных ресурсов капиталом, вытекающая из производственной функции в ее канонической форме – это важный постулат неоклассической экономики, определяющий стра-

тегию отношения к биологическим ресурсам. Поскольку производственная функция имеет хорошее эмпирическое подтверждение, вытекающее из нее следствие рассматривается как реальность. Однако если ввести в модель адаптационную составляющую (уравнение (6)), то при уменьшении ресурса коэффициент α_2 будет расти и соответственно будут уменьшаться коэффициенты при капитале и рабочей силе. В результате довольно быстро будут достигнуты такие низкие значения коэффициентов, при которых приращение капитала и труда практически не будет влиять на приращение продукции. Капитал и труд оказываются неспособными заменить ресурсы. Этот эффект достаточно очевиден: истощение ресурса до некоторого порога при существующей технологии делает бессмысленным сколь угодно большие капиталовложения. Новые более эффективные технологии, снижающие величину деспециализации в ресурсном канале связи, могут привести к экономической целесообразности дальнейшего использования ресурса. Таким образом, ни капитал, ни рабочая сила, ни технологии и инфраструктура не могут заменить основной природный капитал и связанный с ним поток возобновимых ресурсов, а постулат неоклассической экономики: так называемая “слабая устойчивость” – чисто алгебраическое недоразумение.

Оценки функции благосостояния. Важнейшая составляющая сервисного анализа – функция благосостояния, благополучия (well-being), максимизировать которую необходимо в ходе устойчивого развития. В соответствии с официальным переводом “Благосостояние людей образовано многообразными компонентами, включая базовые материальные элементы нормальной жизни, свободу выбора и действий, здоровье, нормальные социальные отношения и безопасность. Благосостояние людей представляет собой континуум, на противоположном конце которого находится бедность, которая определяется как “ярко выраженная утрата благосостояния”. Составляющие благосостояния в том виде, в котором они испытываются и ощущаются людьми, зависят от обстоятельств, отражая локальные географические, культурные и другие условия”. [4]. В этом определении благосостояние в основном связывается с домашней экономикой и с ощущением благосостояния, определяемым местом и социальными условиями.

Последние десять лет понятия благосостояния и счастья активно обсуждаются с экономических, психологических и социальных позиций [33, 40, 47, 57, 60 и др.]. В ряде работ благосостояние, связывается с экономической трактовкой понятия

полезности. Оставляя в стороне эти дискуссии, будем констатировать, что благосостояние и благополучие – это в первую очередь индивидуальное восприятие реальности.

С. Масин с соавт.[45] провел исторический анализ гедонизма и показал, что первая математическая модель ощущения степени благополучия была предложена Бернулли в IV в. Его идеи были развиты Фехнером в XIX веке с использованием экспериментальных результатов Вебера. В результате был сформулирован основной психофизический закон ощущения, связываемый с именами Вебера-Фехнера. Закон утверждает, что сила ощущения p пропорциональна логарифму интенсивности раздражителя S : $p = k \log \frac{S}{S_0}$,

S_0 – нижнее граничное значение интенсивности раздражителя, k – константа, связываемая с условиями места и времени.

Нейрофизиологические основания восприятия по закону Вебера–Фехнера определяются кодированием информации в нейронах в логарифмической шкале [30]. Суть сводится к тому, что человек реально оценивает свое состояние квалитетически [1] в терминах “отлично”, “хорошо”, “средне” (нормально), “плохо” и т.п., которым можно поставить в соответствие баллы (p) 1, 2, ... n . В эти баллы преобразуется реальное физическое внешнее воздействие. Очевидно, что закон Вебера–Фехнера есть та же функция пропускной способности канала связи, тождественная производственной функции и благосостояние (благополучие) квалитетически измеримо. На рис. 1 показано такое преобразование ВВП в год на душу населения для большинства стран в ощущение благополучия [59]. ВВП описывает 60% многомерного ощущения благополучия как

$$p = 0.46 \ln \left(1 + \frac{\text{ВВП}}{0.000025} \right).$$

Соответственно минимальная чувствительность $S_0 = 25\$$ и на каждую единицу информации (нит) ощущение благополучия вырастает примерно на 0.46 балла. Очевидно, что в среднем для всего человечества экономическое состояние – это ведущий, но не единственный фактор в ощущении благополучия. Если рассматривать функцию ощущения от нескольких переменных, то можно говорить об ощущении комфортности жизни или среды обитания. С точки зрения эколога, высокое благосостояние – это область оптимума экологической ниши. Ощущение благосостояния, очевидно, различно у разных людей и зависит от возраста, образования, социальной и географической среды и т.п., поэтому к функции S в частных

моделях можно добавить константу “ k ”, аналогичную константе в производственной функции, отражающей уровень технологии. С другой стороны, любые ощущения связываются с сенсорными системами человека и не воспроизводят непосредственно невоспринимаемых воздействий. В них также реализуется принцип “все познается в сравнении”, в результате чего человек, постоянно живущий в городе, практически не воспринимает факта существования в чрезвычайно агрессивной для здоровья среде. В целом очень большое число переменных, определяющих здоровье человека, остаются вне сферы его прямого ощущения. Таким образом, в оценке благополучия, и в том числе применительно к экосистемным услугам, необходимо различать воспринимаемое и потенциальное благосостояние. Последнее определяется на основе знания возможного влияния на человека экосистемных услуг. В рамках концепции устойчивого развития, по-видимому, наибольший интерес представляет именно потенциальное благосостояние, отражающее возможное влияние экосистемных услуг на человека при условии их полного регионального уровня реализации.

Оценка текущего восприятия благосостояния возможна на основе распределения расходов на различные типы товаров, имея в виду товары, связанные с отдыхом, охотой, рыбалкой и т.п., или на основе расчетов бюджета времени на различные виды жизнедеятельности. В первом случае восприятие благосостояния пересчитывается в монетарный эквивалент, во втором – в бюджет времени. Потенциальные сервисные услуги через производственную функцию можно пересчитывать в монетарный эквивалент, сопоставляя его с восприятием благосостояния, связанного с экономической активностью в конкретном регионе.

Необходимо отметить, что для развивающегося человека достижение некоторого общего комфорта не является предельным состоянием: достигнув его как некоторого равновесия, человек начинает ощущать дискомфорт и как эволюционирующая система переопределяет восприятие оптимума. В соответствии с этим расчет потенциального благосостояния должен учитывать его текущий уровень, текущий региональный оптимум и возможность перехода на новый, более высокий, уровень.

В конечном же итоге все части большой системы: природа, капитал и экономика и человек воспроизводимы в рамках одной модели, определяемой двумя составляющими: моделью саморазвития с емкостью, основным капиталом и потоком, и моделью преобразования информации

с порождаемой ей производственной (продукционной) функцией, определяющей состояние переменных автохтонной модели. Саморазвитие природных систем создает поток, определяемый внешними переменными. Этот поток порождает природную ренту, основанная часть которой не входит в рыночную стоимость. Он подпадает под контроль рынка, только когда мощность его падает до уровня, делающего его использование малорентабельным. Таким образом, в широком смысле в системе действует колебательный контур “хищник–жертва”.

Предлагаемый способ интеграции большой системы опирается на динамические модели и информацию и дает возможность рассматривать отношения между элементами и частями на разных иерархических уровнях. Вместе с тем ту же систему можно рассматривать как статистический ансамбль, то есть в рамках термодинамики и термостатики. Пионером термодинамического подхода к экономике был, по-видимому, Георгеску–Роеген [34, 36], распространивший второе начало термодинамики на вещество, которое по его представлениям диссипирует, так же как энергия. Он рассматривал экономическую активность человека не как циклический процесс, аналогичный экосистемному, а как односторонний, необратимо увеличивающий энтропию. В его трактовке Георгеску–Роегена развитие невозможно и человечество имеет строго определенный предел роста, более низкий, чем в модели Медоуза [6].

В современной экономике осуществляются попытки описать большую систему в терминах термодинамики как систему, преобразующую энергию. В ряде работ аналогом энергии принимается денежный поток, в других деньги ассоциируются с эксергией (полезной работой) в неравновесных системах [38]. Однако это не решает проблемы замкнутости системы по веществу и соответственно не снимает ограничение второго начала термодинамики. Принцип максимума производства энтропии есть неизбежная реальность. Рассмотрение системы в терминах действие–энтропия–информация позволяет выйти из внешне замкнутого круга. В соответствии с выводами Стратонович [15], человеку для своего устойчивого развития необходимо выполнить работу “демона Максвелла”, то есть на основе получения знаний (информации) “в нужное время открывать нужную дверцу”. Факт реализации этого вечного двигателя был показан на примере эволюции биологического разнообразия биосферы [12]. При этом эволюция идет по пути минимизации затрат энергии на бит структур-

ной сложности (информации) при неизбежном увеличении затрат энергии на единицу массы и постоянном росте общей энтропии. Многие экологические экономисты представления об устойчивом развитии также связывают с получением новых знаний [43, 54].

Следовательно, устойчивое развитие может осуществляться при постоянном потоке энергии на основе получения новых знаний, то есть на основе фундаментальной науки через увеличение размерности пространства и разработку программы действий “демона Максвелла” в форме технологий во всех сферах деятельности, включая и управление. Развитие представлений об экосистемных услугах и поиск путей объединения в единой системе четырех капиталов полностью соотносимы с этой формой деятельности.

Оценки экосистемных услуг. Одна из важнейших целей экологической экономики – разработка методов общей системы экономического учета природных ресурсов-условий и экономической деятельности в единой предпочтительно мониторинговой системе измерений. Если экосистемные услуги содержат в себе позитивные начала для системы жизнеобеспечения, то необходимо с тех же эколого-экономических позиций рассматривать и экосистемные нагрузки, лежащие часто тяжелым бременем на благосостояние и саму жизнь человека. Не вдаваясь в детали, констатируем выделение трех основных типов услуг, с которыми связываются разные методы их монетарного измерения: обеспечивающие, поддерживающие, регулирующие, культурно-рекреационно-информационные [31] и два типа экосистемных нагрузок: медико-биологические и геофизические. В соответствии с общими подходами оценки должны осуществляться на уровне макро- и микроэкономики. На уровне макроэкономики желательно, чтобы они были согласованы с ВВП, а на уровне микроэкономики – с конкретными отраслевыми производственными отношениями в прямом или косвенном использовании возобновимых ресурсов и связанных с ними услуг.

Если принять, что теория информации дает достаточные основания для описания сложных отношений между природой и обществом, то можно утверждать, что должно существовать понятие информационной цены. Это цена прямо связана с функцией информативности, из которой следует, что чем реже состояние какого-либо явления, тем выше его информационная ценность: $I_s = -k_s \log p_i$, где k_s – коэффициент пересчета в монетарное исчисление явления типа S . Из выражения следует, что информационная стоимость

единицы продукта, тем выше, чем он реже. Эта форма оценки была предложена Ю.Г. Пузаченко [9] для охраняемых территорий и редких видов и независимо в более полной форме разработана в [2, 3].

Несмотря на то что ВВП – это широко критикуемый индекс, он остается основным обобщенным показателем экономического развития. Критика концентрируется на том факте, что ВВП автоматически включает в себя как положительную составляющую затраты на ликвидацию катастроф, в том числе экологических. При этом службам, ответственным за чрезвычайные ситуации, экономически выгоднее ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС), чем их предупреждение. Предупреждение строится в первую очередь на преобразовании информационного потока ограниченным числом интеллектов, в то время как ликвидация требует большой мощности материально-денежного и трудового потока, создающего большую добавленную стоимость. С этих позиций, загрязнение воздуха в городах, повышая болезненность населения, автоматически содействует развитию фармакологии и медицины, компенсирующих негативное действие среды. Точно так же ВВП включает и все затраты на противостояние экосистемным нагрузкам. Эти потоки, не связанные с производством материальной и интеллектуальной полезной продукции, в конечном итоге повышают уровень инфляции и значение дефлятора. В целом же ВВП можно рассматривать как индекс, суммирующий поток информации, выраженный в монетарном эквиваленте, от ресурса и среды с ее позитивным и негативным влияниями, через производство и торговлю к потребителю; и с этих позиций он теоретически корректен. Как показано на рис. 1, он определяет 60% ощущения благосостояния “средним человеком”, так как содержит в себе информацию о любых доходах населения.

Зеленые индексы строятся на вычитании из ВВП потерь природного капитала и потенциальных затрат на предотвращение и устранение загрязнения атмосферы, водного бассейна и почв [28]. Многие авторы видят в этом нарушение корректности оценок и получаемое в результате искажение информации [58]. Действительно, с позиций рассмотренной выше модели, необходимо поддерживать основной природный капитал на уровне, обеспечивающем максимальный стабильный урожай. Соответственно важно иметь счета состояния основных капиталов экосистемных услуг, человеческого и социального капиталов, точно так же, как это реализуется в классическом

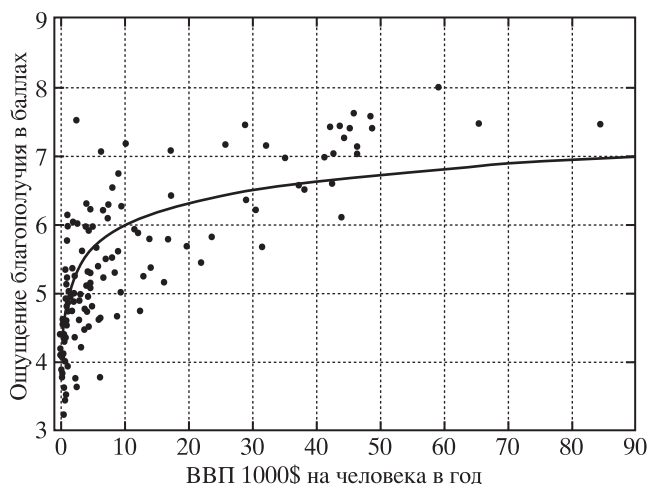


Рис. 1. Ощущение благополучия как функция ВВП на человека в год. (мировая база данных счастья, <http://worlddatabaseofhappiness.eur.nl/trendnat/framepage.htm>)

экономическом секторе, и счета экосистемных нагрузок.

Если такие счета существуют, то управление основным капиталом в этих секторах становится подобным управлению в экономике. Поддержание этого процесса должно осуществляться через адаптивную систему учетных ставок, налогообложения, нормативов, стимулирующих внедрение более эффективных технологий, сохраняющих, а в идеале повышающих емкость основного природного капитала. Эти составляющие автоматически войдут в ВВП, отразив соответствующие информационные потоки. По-видимому, счета ущерба, включающих в том числе и необходимые затраты на предупреждение и компенсацию, целесообразно вести независимо от производимой части ВВП, рассматривая их как информационные потоки, поддерживающие структуры и основные капиталы.

В соответствии с моделью системы, открытой относительно потока информации, развитие строится на более глубоком и полном преобразовании в экономике любого ресурса с соответствующей максимизацией эксергии включения на основе развития знаний и технологий потоков еще неиспользуемых ресурсов и источников информации, создания более эффективных управленческих структур.

Если такие счета существуют, то их сопряженный макроэкономический анализ даст информацию для соответствующего адаптивного управления.

В качестве демонстрации макроэкономической оценки стоимости ресурса (услуги) на основе

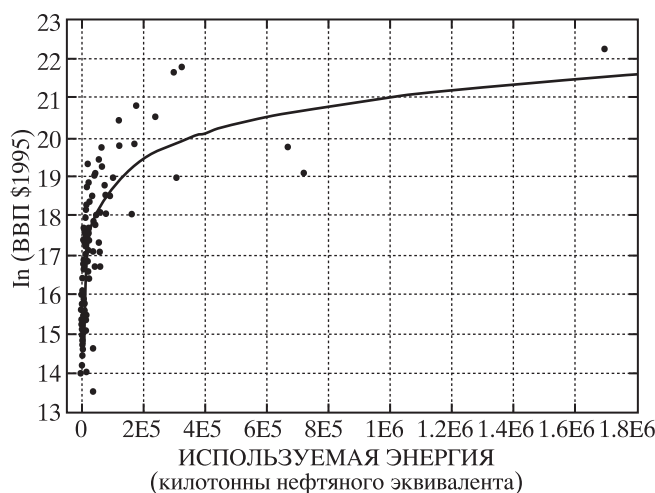


Рис. 2. Вклад в ВВП, выраженного в долларах США, приведенных к 1995 году, используемой энергии UE в килотоннах нефтяного эквивалента (среднее для 180 стран за 1960–1995 гг.).

статистических данных мирового банка и ФАО за 1960–1995 годы приведем расчет информационной производящей функции $\log \text{ВВП}$ для преобразованных в логарифмическую форму переменных: 1) ландшафтные переменные: общая площадь страны в 1000 га (ALL_AREA), площадь под лесом (CLOS), открытые ландшафты (OPEN), плантации (PLNT), кустарниковые ландшафты (SHRUB), залеж (FALLOW), земли под городами, поселками и производством (OTHER); 2) население: общая численность (POPUL), в сельском хозяйстве (R), в других секторах экономики (L); 3) энергия: производство (E), потребление (UE); 4) сельское и лесное хозяйство: пашня (ARABLE), лесной фонд (FOREST), пастбища (PAST), земли и производство в миллионах тонн: пшеница (CERIAL, CERMT), корнеплоды (ROOT, ROOTMT), масличные (OIL, OILMT), технические (FIBR, FIBRMT), прочие растительные (VEG, VEGMT), орехоплодные (NUT, NUTMT). К сожалению, все страны неодинаково обеспечены исходными данными, что вносит некоторые искажения в сравнительные расчеты. В целом для всех переменных наибольший вклад в ВВП, выраженный в долларах США и приведенный к 1995 году, вносит количество используемой энергии UE в килотоннах нефтяного эквивалента (68% варьирования), поэтому логично рассмотреть это частное соотношение:

$$\ln \text{ВВП} = 0.98 \log \left(1 + \frac{UE}{0.98 \cdot 0.005} \right) \quad (\text{рис. 2}).$$

Очевидно, что стоимость единицы энергии, выраженная через монетарный эквивалент ВВП, снижается по мере роста использования энергии

и шум на единицу полосы частот составляет около 2000 тонн. Средняя геометрическая стоимость приближенно определяется как

$$\overline{\text{ВВП}} = \left(1 + \frac{UE}{0.0005} \right)^{0.98} \quad \text{и}$$

$$6988054365 = \left(1 + \frac{13619}{0.0005} \right)^{0.98}.$$

Итого: в среднегеометрическом каждая килотонна энергии порождает 360\$ ВВП.

На втором месте по вкладу в ВВП стоит численность населения, не связанного с сельским хозяйством (L). Совместно с потребляемой энергией (UE) они описывают 73% варьирования с производственной функцией (отличие от строгой записи пропускной способности канала связи не приводит к принципиальным искажениям отношений) $\log \text{ВВП} = 4.826741 + 0.367843L + 0.68UE$ для 101 страны.

Как следует из рис. 3, численность населения и потребление энергии в существенной степени коррелируют друг с другом, но существует и их собственный вклад. Определим основные параметры, вытекающие из этих соотношений, переведем их в показательную форму: $\text{ВВП} = 122.9L^{0.37}UE^{0.68}$.

Естественно, что приращение ВВП с увеличением численности населения и использованной энергии уменьшается. Средний вклад единицы труда и единицы энергии в ВВП в долларах можно определить из их среднегеометрических значений как $\overline{\text{ВВП}} = \overline{AL}^{0.37} \overline{UE}^{0.68}$ есть $6988054356 = 122.9 \times 1311239^{0.37} 13619^{0.68}$.

В соответствии с этими среднегеометрическими отношениями один человек, не занятый в сельском хозяйстве, вносит в ВВП – 0.18\$ и одну килотонну нефти – 33.46\$.

На основе многомерного регрессионного пошагового анализа получаем следующую обобщенную производственную функцию с $R^2 = 90\%$: $\ln \text{ВВП} = 5.1 + 1.1L + 0.54UE + 0.48\text{CERIAL} + 0.13\text{FRUT} + 0.111\text{FOREST} - 0.673R - 0.377\text{ARABLE} - 0.18\text{OIL} - 0.076\text{PAST}$.

Уравнение показывает, что дополнительно к энергии и населению, не занятому в сельском хозяйстве, положительный вклад в ВВП вносят только площади под зерновыми и фруктовыми культурами и, в наименьшей степени, площадь лесов. Если же в стране значительная часть населения занята в сельском хозяйстве, большая площадь под различными пашнями, масличными культурами и пастбищами, то ВВП снижается. По-видимому, статистические отношения отра-

жают вытекающий из теории принципиально раз-
 личный вклад в ВВП ресурсных и торгово-произ-
 водственных секторов экономики (производство
 средств производства, потребительских товаров),
 то есть секторов с большой добавленной стои-
 мостью. В ресурсные отрасли, опирающиеся на
 природную ренту и высокую пропускную спо-
 собность к потоку солнечной энергии, вложение
 капитала и труда дает относительно небольшое
 приращение капитала и снижает подушный до-
 ход. В результате страны с сырьевой экономи-
 кой неизбежно имеют относительно низкое ВВП
 и подушный доход. Следует отметить, что если
 сравнивать вклад в ВВП использованной энергии
 (UE) населением, не занятым в сельском хозяй-
 стве (L), с добытой энергии (E) и населением в
 сельском хозяйстве (R), то добытая энергия как
 ресурс входит в модель также с отрицательным
 знаком.

$\ln \text{ВВП} = 4.54 + 0.65\text{UE} - 0.037\text{E} + 0.635\text{L} - 0.223\text{R}$ ($R^2 = 0,75$). Это вполне объективные ры-
 ночные соотношения между секторами хозяйства
 скорее всего являются генераторами автоколеба-
 ний с периодическим перепроизводством товаров
 потребления и перегревом связанных с ними фи-
 нансовых капиталов. По-видимому, те же эконо-
 мические отношения определяют отрицательный
 или слабо положительный вклад в ВВП любых
 видов экосистемных услуг. Тот же результат был
 получен Вальтухом [3] с несколько иных исход-
 ных позиций. Фактически то, что исходит из при-
 род, является основой существования, но создает
 малую прибавочную стоимость и снижает значе-
 ние ВВП относительно среднего.

Очевидно, что любые формы использования
 природного капитала – это необходимое условие
 существования и развития человечества, но, чем
 больше поток природных ресурсов, тем меньше
 приращение прибыли на основе связанного с
 ними капитала. В основе этих парадоксальных
 отношений лежит фактически закон пропускной
 способности канала связи и вытекающей из нее
 производственной функции. Обратим внимание
 на тот факт, что наука находится в положении
 ресурсного сектора, так как ее деятельность так-
 же строится на “бесплатном” информационном
 ресурсе. В общем случае, чем меньше требуется
 затрат труда и капитала на получение единицы
 полезной продукции, тем меньше вклад этого
 сектора экономики в монетарные экономические
 показатели, тем меньше прибыль на единицу
 труда и капитала и, следовательно, нет прямых
 экономических стимулов для капиталовложений.
 Вычитая или добавляя к ВВП величины потоков,
 связанных с природным и человеческим (интел-

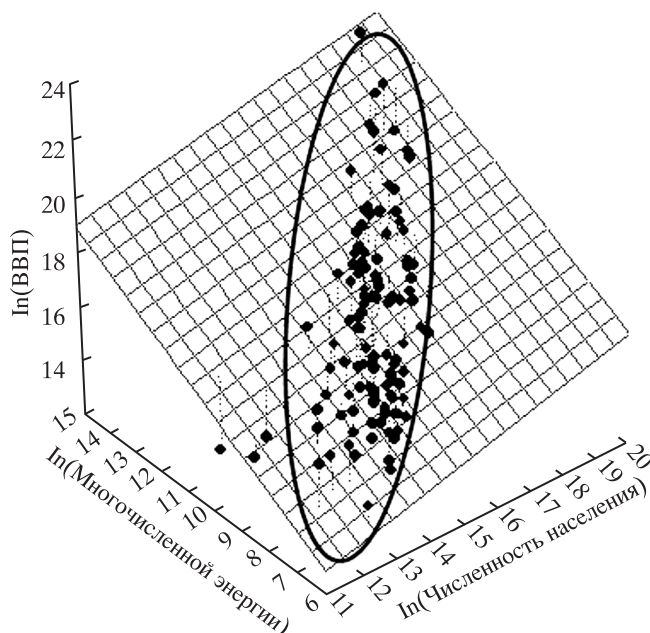


Рис. 3. Зависимость $\ln \text{ВВП}$ от логарифмированных данных по численности населения и использованной энергии в сред-
 нем за 35 лет для 101 страны.

лектуальным) капиталом в монетарных эквива-
 лентах, нельзя получить “новой информации”,
 способной изменить структуру их потребления и
 капиталовложений. В устранении диспропорций
 капиталовложений между ресурсными, произво-
 дящими и торговым секторами, очевидно, должен
 принять активное участие “демон Максвелла”,
 поддерживающий необходимый уровень капита-
 ловложений в сектор экосистемных и информа-
 ционных услуг, обеспечивающих сохранение и
 увеличение их основного капитала.

Для микроэкономического уровня разработаны
 различные методы стоимостного выражения эко-
 системных услуг [31]:

1) стоимость, получаемая из расчета, каковы
 были бы потери в монетарном выражении, если
 бы были бы устранены соответствующие экоси-
 стемные услуги или их надо было компенсиро-
 вать инженерно-техническими сооружениями
 (Avoided Cost, Replacement Cost стоимость пред-
 отвращения, стоимость замены);

2) стоимость прямых доходов от материального
 использования (Factor Income. Доход от фактора)
 и/или рассчитанная по модели производственной
 функции (Marginal Product Estimation, маргиналь-
 ная оценка продукта);

3) стоимость рекреационного обслуживания
 (Travel Cost);

4) гедоническая оценка стоимости (Hedonic
 Pricing);

5) условная оценка (Contingent Valuation) и оценка группы (Group Valuation) в основном на основе опросов и коллективных решений.

Первый вариант оценок, применение которого предлагается для поддерживающих и регулирующих услуг, вызывает некоторые сомнения, так как вводит монетарную стоимость того, чего не случилось. В большинстве случаев будущих рисков можно избежать, если сохранен основной капитал. Такого рода оценку логично использовать при экологической экспертизе решений, принимаемых на основе прогнозов, но не в прямых бухгалтерских счетах, отражающих фактические соотношения затрат и прибыли. Столь же проблематичен перевод результатов естественного функционирования системы в энергетические единицы с последующим пересчетом в стоимость энергоносителей. Энергоносители приобретают стоимость при их включении в явном виде в производство и точно так же, как живое вещество, должны включаться в оценки как потоки, используемые в экономике с собственной стоимостью, отличной от стоимости самого энергоносителя. Соответственно лежащий в их основе основной капитал должен принимать на себя и их рыночную стоимость. При всей проблематичности полученных величин такие оценки могут служить хорошей основой для расчета арендной платы или ежегодного налога на землю при ее не целевом использовании. Р. Констанца с соавторами [27] провели оценку экосистемных услуг и привели обширный справочный материал расчетной стоимости природного капитала и экосистемных услуг, полученной в основном по описанной выше схеме.

Потенциальная стоимость, получаемая от использования материальных и рекреационных услуг, может быть вполне удовлетворительно рассчитана по производственной функции Кобба-Дугласа [22]. Гедонические оценки стоимости на основе статистических выборок есть косвенная оценка ощущения комфорта в монетарном выражении. Если рассчитать стоимостный эквивалент балла ощущения, то подобного рода оценки можно выполнить на основе квалитетических моделей [1].

Стоимость прямых доходов, как реальных, так и потенциальных может быть оценена по производственной функции с учетом как текущего, так и возможного в будущем спроса, затрат на логистику, рекламу и т.п.

Наибольшие проблемы возникают при оценках поддерживающих и регулирующих услуг и антропогенных воздействий с неопределенными источниками, захватывающими обширные территории

и определяющими общее состояние ландшафтов и регионов. Исходя из общей модели, они могут быть описаны аналогами производственных функций относительно ВВП, доходов населения, здоровья, основного капитала, живого вещества и т.п. для глобального уровня на основе производственной функции оценили вклад чистой продукции в ВВП на фоне оценок вклада капитала и численности населения [52]. По расчетам автора, коэффициент при финансовом капитале составил 0.62, при численности населения 0.47 и при чистой продукции 0.09. Таким образом, вклад ресурсной составляющей в ВВП оказался минимальным. Это соотношение отражает вклад ресурса в поток информации в собственно экономической системе, но не отражает его общей информационной стоимости.

По аналогичной схеме рассмотрим “производственную функцию” климата, выраженного через среднемесячную температуру и осадки четырех наиболее независимо варьирующихся в пространстве и времени месяцев: январь, апрель, июль и октябрь. Вся исходная информация взята из базы данных ISLSCP II [41] с определяемыми переменными, в которой представлены карты с разрешением 0.5° для 1) ВВП = (Численность населения × ВВП на душу населения в целом по стране)/1000 (рис. 5); 2) плотности населения, а также данные по среднемесячным температурам и осадкам. ВВП на человека приведено для отдельных стран без подразделений на отдельные субъекты, а численность населения – для территориальных единиц внутри каждой страны, для России – на уровне районов [19]. Обобщенное представление “ВВП на человека”, конечно, вводит существенные искажения, делая используемый для расчетов показатель существенно зависимым от численности населения. Однако варьирование его между странами с относительно небольшой площадью позволяет все-таки выделить собственную зависимость ВВП и численности населения от климата и оценить его вклад в определение ВВП.

В соответствии с использованной схемой расчета производственная функция от населения к ВВП, определенная по модели пропускной способности канала связи с $R^2 = 97.591\%$:

$$\ln \text{ВВП} = 0.957 \ln \left(1 + \frac{\text{Население}}{0.957 \cdot 0.144} \right) \quad (\text{рис. 4}). \quad \text{Шум}$$

на единицу полосы частот составляет 6944 человека. Вместе с тем зависимость не абсолютная, а с другой стороны, численность населения может быть также функцией климата. Для анализа этих соотношений используем полиноми-

альную форму пропускной способности канала. В табл. 1 приведены параметры соответствующих уравнений. В среднем численность населения больше зависит от температуры, чем ВВП, и форма зависимостей существенно различна: численность населения на один градус прирастает в среднем в 1.2–1.3 раза, а ВВП в 1.4–1.5 раз. Температурный оптимум для численности населения в среднем существенно выше, чем для ВВП (различия во второй производной).

Получить зависимость переменных от температуры с учетом нелинейных и мультипликативных отношений можно с помощью метода нейронных сетей.

Такая модель определяет $\ln$ ВВП с $R^2 = 78.4\%$ (рис. 5). Модель нейронных сетей ВВП – осадки, показывает их небольшой вес ($R^2 = 39\%$), а при добавлении к температурам увеличивает качество описания всего на 2%. В соответствии с этим осадками можно пренебречь.

Модель $\ln$ ВВП от численности населения и температуры (модель нейронных сетей) описывает его с $R^2 = 92.13\%$, как $\ln$ ВВП = 0.847008 (население, модель пропускной способности канала связи) + 0.158573 (температура, модель нейронных сетей).

Единице модели нейронной сети в среднем соответствуют два градуса температуры. Таким образом, на каждый градус приращения температуры ВВП прирастает в 1.35 раз. Полученная “производственная функция” позволяет показать независимо область влияния поля температур (рис. 5) без учета численности населения. В этом варианте естественно на карте проявляются единицы оценки ВВП на человека, но общая тенденция его увеличения в определенных климатических условиях очевидна. На рис. 6 показано соотношение ВВП определенной моделью нейронных сетей от температуры и исходных данных со среднегодовыми температурами. Климатический оптимум ВВП соответствует среднегодовой температуре 19.8°C и в интервале от -9 до 10°C каждому градусу температуры соответствует около 50 миллионов долларов ВВП. Таков возможный общий вклад потепления климата в экономику северного полушария при условии равновесного перехода. В данном случае важно то, что от глобальных отношений, используя аналогичную основу оцениваемой услуги для среднего масштаба, можно перейти на региональный уровень и оценить экономический потенциал региона, определяемый соответствующей услугой.

Используя монетарные значения экономических переменных, можно независимо рассчитать

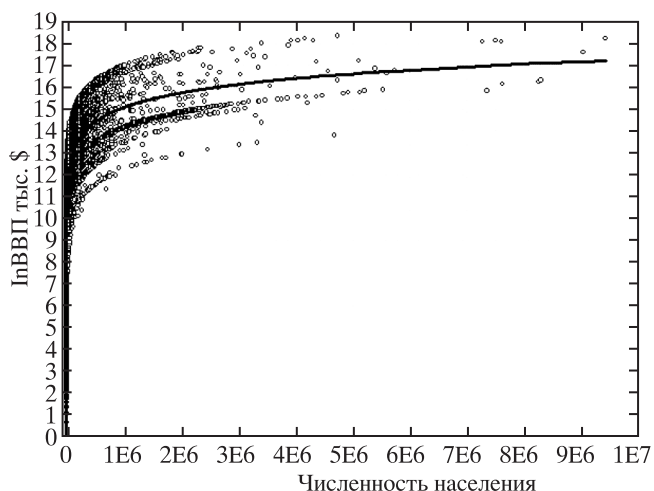


Рис. 4. Пропускная способность канала связи (производственная функция от численности населения к ВВП).

Таблица 1. Параметры полинома второй степени от средней температуры месяца к численности населения и ВВП ($\ln Y = b_0(X - X_{\min}) + b_1(X - X_{\min})^2$)

Переменная	Месяц	R^2	Параметры		Приращение переменной $d\ln Y/dX$
			b_0	b_1	
Население	январь	46.4	0.2457	-0.0014	1.28
	апрель	58.2	0.2396	-0.0011	1.27
	июль	46.7	0.2647	-0.0003	1.30
	октябрь	52.9	0.2584	-0.0013	1.29
ВВП	январь	36.3	0.3379	-0.003	1.40
	апрель	51.1	0.3518	-0.003	1.42
	июль	41.5	0.4019	-0.003	1.49
	октябрь	45.6	0.3751	-0.003	1.46

позитивную и негативную стоимости поддерживающих и регулирующих услуг при существующих технологиях, человеческом и социальном капитале. При этом необходимо иметь в виду, что все ресурсные секторы экономики почти во всех случаях будут понижать величину макроэкономических показателей.

Важно, что при оценке монетарной стоимости или “ощущения качества” любых форм системных услуг можно опираться на производственную функцию. Полученные соотношения будут отражать в монетарном выражении текущее состояние природно-социально-экономической системы. Однако, изменяя коэффициенты уравнения, на его основе можно искать оптимальное соотношение между природой, трудом человека и капиталом и определить необходимые экономические и административные механизмы управления, компенсирующие низкую эффективность

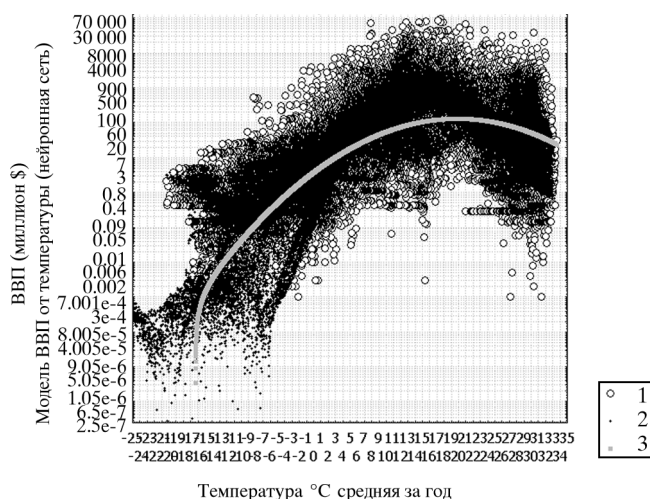


Рис. 5. Зависимость ВВП от среднегодовой температуры: 1 – исходные данные, 2 – ВВП воспроизводимое температурой января, марта, июля, октября методом нейронных сетей.

вложений капитала и человеческого труда в секторе экосистемных услуг капиталовложениями в новые технологии, сохранение и развитие основного капитала.

Заключение. Основанием для устойчивого развития как процесса постоянного роста благосостояния без разрушения среды обитания является *неисчерпаемый поток информации, преобразуемый в открытие новых явлений и получение*

нового знания. На этой основе постоянно увеличивается размерность используемого пространства, снижаются шумовые потери, преобразуются структуры, отвечающие за регулирование. Возможность устойчивого развития не означает его реализуемость, которая требует постоянного устранения неопределенностей, возникающих в ходе эволюции системы, открытой к потоку информации, и принятия адекватных решений управленческих решений (работа демона Максвелла).

Проведенный анализ некоторых наиболее общих фактических отношений показал, что ресурсы, будучи необходимыми и незаменимыми, создают относительно небольшую добавленную стоимость и в результате информация нелинейности в собственно экономической системе об их состоянии появляется только при существенной деградации. Следовательно, в экономической системе нет информации для механизмов, способных эффективно управлять флуктуациями и кризисами, порождаемыми автоколебаниями в подсистеме ресурс – производство.

Из этого вытекает необходимость получения независимой информации и ведения соответствующих счетов о состоянии ресурсов и среды (текущее состояние основного капитала, потока, емкости), на основе которой можно перераспределять финансовый, производственный и трудо-

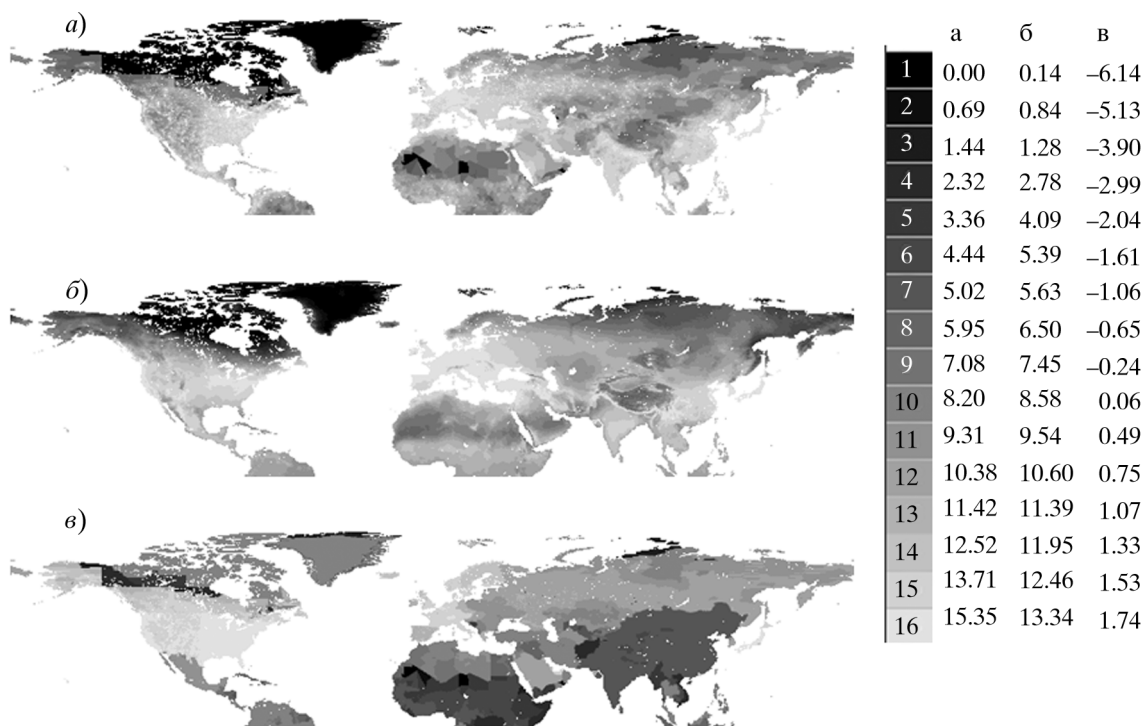


Рис. 6. $\ln \text{ВВП} = 0.847008 (\text{население, модель пропускной способности канала связи}) + 0.158573 (\text{температура, модель нейронных сетей})$. $R^2 = 92.13\%$ а) – исходные данные, б) – модель, в) – $\ln (\text{ВВП/на человека})$.

вой капитал на поддержание основного капитала природы и увеличение его емкости. Само по себе такое перераспределение должно давать в результате внедрения новых технологий мультипликативный экономический эффект.

Экосистемные услуги могут описываться как частные, реализованные и моделируемые производственные функции на микроэкономическом уровне. Но в реализованных функциях, как и в общем случае, информация о состоянии источника услуги весьма ограничена, а для моделирования требуется информация о возможных потоках, что приводит к необходимости ведения независимых счетов о состоянии соответствующего природного капитала. Например, анализ временных рядов промысла какого-либо вида животных не может дать необходимой информации об емкости и состоянии основного капитала.

Таким образом, есть все основания утверждать, что *индексы, интегрирующие в монетарном выражении потоки от природного капитала с потоками в экономической системе, малоинформативны для управления*, так как их вклады в общее функционирование неаддитивны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Азгальдов Г.Г.* Теория и практика оценки качества товаров (основы квалиметрии). М.: Экономика. 1982. 256 с.
2. *Вальтух К.К.* Информационная теория стоимости и законы неравновесной экономики. Изд-во Янус-К, 2001 г. 896 стр.
3. *Вальтух К.К.* 2005 Теория стоимости, статистическая верификация, информационное обобщение, актуальные выводы // Вестн. РАН. 2005. Т. 75. № 9. С. 793–817.
4. Доклад концептуальной рабочей группы по “Оценке экосистем на пороге тысячелетия”. World Resources Institute, Island Press. 2005. 268 с.
5. *Колемаев В.А.* Математическая экономика. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. 390 с.
6. *Медоуз Д.* Пределы роста 30 лет спустя. Академкнига, 2007. С. 342.
7. *Нижегородцев Р.М.* Информационная экономика. Книга 2. Управление беспорядком: Экономические основы производства и обращения информации. Москва–Кострома, 2002. 173 с.
8. *Пузаченко Ю.Г.* Соотношение между структурой и продуктивностью в биогеоценотических системах // Биологические системы в земледелии и лесоводстве. М., 1974. С. 62–69.
9. *Пузаченко Ю.Г.* 1987. Обоснование экологической ценности территории. Методы изучения расселения. М.: ИГ АН СССР. С. 154–164.
10. *Пузаченко Ю.Г.* Биологическое разнообразие, устойчивость и функционирование // Проблемы устойчивости биологических систем. М.: ИЭМЭЖ АН СССР, 1982. С. 5–32.
11. *Пузаченко Ю.Г.* Семантические аспекты информатики // Экоинформатика. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. С. 3–274.
12. *Пузаченко Ю.Г.* 2006. Глобальное биологическое разнообразие и его пространственно-временная изменчивость // Современные глобальные изменения природной среды. Т. 2. М.: Научный мир, 2006. С. 306–377.
13. *Пузаченко Ю.Г.* Биологическое разнообразие в биосфере: системологический и семантический анализ // Междисциплин. науч. и приклад. Журн. “Биосфера”. 2009. Т. 1. № 1. С. 25–38.
14. *Свирижев Ю.М., Логофет Д.О.* Устойчивость биологических сообществ. М.: Изд-во Наука, 1978. 352 с.
15. *Стратонович Р.Л.* Теория информации. М.: Сов. Радио, 1975. 424 с.
16. *Хазен А.М.* Разум природы и разум человека. М.: РИО “Мособлполиграфиздата” НТЦ Университетский, 2000. 760 с.
17. *Эшби У.Р.* Введение в кибернетику. М.: Иностранная литература, 1959. 432 с.
18. ЮНЕП: Навстречу “зеленой” экономике: пути к устойчивому развитию и искоренению бедности – обобщающий доклад для представителей властных структур. www.unep.org/greeneconomy.
19. *Balk D., Yetman G.* The Global Distribution of Population: Evaluating the gains in resolution refinement. 2004. P. 1–15. <http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw/documentation.jsp>
20. *Bateman I.J., Mace G.M., Fezzi C., Atkinson G. et al.* Economic Analysis for Ecosystem Service Assessments Environ Resource Econ Springer Science+Business Media. V. B. 2010. P. 1–42.
21. *Carson R.T., Granger Cl.W.J., Jackson J.B.* Wolfram Schlenker. Fisheries Management Under Cyclical Population Dynamics // Environ Resource Econ. № 42. 2009. P. 379–410.
22. *Costanza R.* Thinking Broadly About Costs and Benefits in Ecological Management Integr Environ. Assess. Manag. X. 2006.
23. *Costanza R., d’Arge R., de Groot R., Farber St. et al.* The Value of the World’s Ecosystem Services and Natural Capital // Nature. 1987. V. 387. P. 253–260.
24. *Costanza R., Daly H.E.* Toward an Ecological economics. Ecological Modelling, 38. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam – Printed in The Netherlands, 1987. P. 1–7.
25. *Costanza R., Daly H.E.* Natural Capital and Sustainable Development // Conservation Biology. 1992. V. 6. № 1. P. 37–46.

26. Costanza R., Daly H.E., Bartholomew J.A. Goals, Agenda and Policy recommendations for ecological economics. *Ecological Economics*. [www.uvm.edu/giee/publications/Costanza, Daly, Barth 1991](http://www.uvm.edu/giee/publications/Costanza,Daly,Barth1991).
27. Costanza R., Daly H.E., Childers L., Erickson J. et al. Valuing New Jersey's Natural Capital: An Assessment of the Economic Value of the State's Natural Resources. <http://www.state.nj.us/dep/dsr/naturalcap/2007>.
28. Costanza R., Hart M., Posner St., Talberth J. Beyond GDP. The Need for New Measures of Progress // *The PARDEE PAPERS*. 2009. № 4.
29. Daly H.E. Forum Georgescu-Roegen versus Solow // *Stiglitz Ecological economics*. 1997. № 22. P. 261–266.
30. Dehaene S. The neural basis of the Weber–Fechner law: a logarithmic mental number line // *TRENDS in Cognitive Sciences* 2003. V. 7. № 4. P. 146–147.
31. Farber S., Costanza R., Childers D.L., Erickson J. et al. Linking Ecology and Economics for Ecosystem Management // *BioScience*. 2006. V. 56. № 2.
32. Felipe J., Adams F.G. “A theory of Production” the estimation of the Cobb-Douglas function: A retrospective view // *J. Eastern Economic*. 2005. V. 31. № 3.
33. Frey B.S., Stutzer A. *Economics and Psychology: Developments and Issues*. England MIT Press, 2007. 296 p.
34. Georgescu-Roegen N. *The Entropy Law and the Economic Process*; Harvard University Press: Cambridge, MA, USA. 1971.
35. Georgescu-Roegen N. Energy and economic myths // *J. South. Econ*. 1975. P. 347–381.
36. Georgescu-Roegen N. The entropy Law and the Economic Process in Retrospect // *J. Eastern Economic*. 1986. V. 12. № 1. P. 3–29.
37. Grubler A. *The Rise and Fall of Infrastructures Dynamics of Evolution and Technological Change in Transport*. Physica-Verlag Heidelberg, 1990. 305 p.
38. Hammond G.P., Winnett A.B. The Influence of Thermodynamic Ideas on Ecological Economics // *An Interdisciplinary Critique Sustainability*. 2009. № 7. P. 1195–1225.
39. Hawken P., Lovins A., Hunter L. *Natural Capitalism: Creating the Next Industrial Revolution* By. Little, Brown and Company, 1999.
40. Huppert F., Linley P. Al. / Ed *Happiness and Well-being. Critical concepts in psychology* Routledge, 2010. 1600 p.
41. The International Satellite Land Surface Climatology Project, Initiative II (ISLSCP II) http://daac.ornl.gov/ISLSCP_II/islscpii.shtml
42. Jarne G., Sanchez-Cholz J., Fatas-Villafranea F. “S-shaped” Economic Dynamics. The Logistic and Gompertz curves generalizes // *J. Elect. Evol. Modeling and Econom. Denamics*. 2005. № 1048.
43. Kováč L. Information and Knowledge in Biology. *Plant Signaling & Behavior*. 2007. V. 2. № 2.
44. Kucharavy D., De Guio R. Application of S-shaped curves. “TRIZ-Future Conference 2007: Current Scientific and Industrial Reality, Frankfurt: Germany Jürgen E. Blank. *Environmental Economics* www.wiwi.unikl.de/dekanat/blank/envecon.
45. Masin S.C., Zudini V., Antonelli M. Early Alternative derivations of Fechner's Law // *J. Hist. Behav. Sci*. 2009. № 45. P. 56–65.
46. McAfee R.P., Johnson J.St. Introduction to Economic Analysis. <http://www.introecon.com>, 2006. July 24.
47. Michalos Alex C.(ed). Happiness and Wellbeing Is happiness measurable and what do those measures mean for public policy?, at Rome, 2–3 April 2007. University of Rome ‘Tor Vergata’. 1–25.
48. Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC. Island Press. 2005. 267 p.
49. Neva R.G., Cleveland C. 2006. “Capital”. In: *Encyclopedia of Earth*. Eds. Cutler J. Cleveland (Washington, D.C.: Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment). [First published in the *Encyclopedia of Earth* November 6, 2006; Last revised Date November 6, 2006; Retrieved April 21, 2011 <<http://www.eoearth.org/article/Capital>>
50. Pan H., Köhler J. Technological change in energy systems: Learning curves, logistic curves and input–output coefficients // *Ecological economics*. 2007. P. 749–758.
51. Rigoberto J., Daza P. The utility function and the emotional well-being function EJBO // *Electr. J. Business Ethics and Organ. Stud*. 2004. V. 9. № 2. P. 23–29.
52. Richmond Amy, Robert K. Kaufmann, Ranga B. Myneni Valuing ecosystem services: A shadow price for net primary production // *ECOLOGICALECONOMICS*. 2007. № 64. P. 454–462.
53. Barkley R.J. Post Keynesian perspectives and complex ecologic-economic dynamics. [cob.jmu.edu/rosserjb/POST%20KEYNESIAN%20PERSPECTIVES %20AND%20COMPLEX%20ECOLOGIC.doc](http://cob.jmu.edu/rosserjb/POST%20KEYNESIAN%20PERSPECTIVES%20AND%20COMPLEX%20ECOLOGIC.doc). 2010.
54. Ruth M. Information, order and knowledge in economic and ecological systems: implications for material and energy use // *Ecological Economics*. 1995. № 13. P. 99–114.
55. Seijo J.C., Defeo O., Salas S. Fisheries bioeconomics. Theory, modelling and management // *FAO Fisheries Technical Paper*. 1998. № 368. Rome, FAO. 108 p.
56. Shannon C.L.E. Communication in the Presence of Noise // *PROCEEDINGS OF THE IRE*. 1949. V. 37. № 1. P. 10–21.

57. *Thurstone L.L.* Psychophysical Analysis // *American J. Psych.* 1927. V. 38. № 3. P. 368–389.
58. *Vic Li, Lang Gr.* China's "Green GDP" Experiment and the Struggle for Ecological Modernisation // *J. Contemporary Asia* 2010. V. 40. № 1. P. 44–62.
59. World Database of Happiness. <http://worlddatabaseofhappiness.eur.nl/trendnat/framepage.htm>
60. *Wren-Lewis S.* Towards a Complete Account of Psychological Happiness // *Praxis*. 2010. V. 2. № 2. P. 58–81.

General Basis of Conception of Sustainable Development and Ecosystem Surveys

Yu.G. Puzachenko

Institute of Geography, RAS

General basis of realization of conception of sustainable development and ecosystem surveys are discussed in the article. It is shown, that both conceptions are reflected on general theoretic-methodological basis – notions on natural capital, use in “green economy” notions of entropy and information, inclusion of well-being function to the sustainable development and implementation of methods of economic calculation with use of monitoring system of measuring. Based on approaches to evaluation of ecosystem surveys, developed by R. Constance with so-authors (1992) and calculations of potential cost according to industrial function of Cobb-Douglas their qualitative expression can be received via gross national product. Unfortunately, integrated in monetary expression streams from natural capital and streams of economic system are few informative for management. Possibility of realization of sustainable development mainly depends from operative reception of independent information on condition and streams of natural capital.